



โครงการ
การเรียนการสอนเพื่อเสริมประสบการณ์

ชื่อโครงการ ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันเชิงเร่งปฏิกิริยาของชีวมวล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอน

Catalytic hydrothermal liquefaction of biomass by using carbonaceous catalyst

ชื่อนิสิต	นางสาวณภัทร	ประพันธ์วงศ์	เลขประจำตัว	5932918723
	นางสาวสิรินรัตน์	คำฤผา	เลขประจำตัว	5932966823

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ปีการศึกษา 2562

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชื่อโครงการ ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นเชิงเร่งปฏิกิริยาของชีวมวล โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอน

ชื่อนิสิตผู้ทำโครงการ น.ส.ณภัทร ประพันธ์วงศ์
น.ส.สิรินรัตน์ คำภูผา

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คูชลธารา

ภาควิชา เคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันมีความต้องการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่เพิ่มขึ้น และเพื่อทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่กำลังหมดไป เชื้อเพลิงชีวภาพจากชีวมวลเป็นหนึ่งในทางเลือกที่สามารถทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ หนึ่งในชีวมวลที่ได้รับความนิยมในการนำมาแปรรูปเป็นเชื้อเพลิงเหลวคือชานอ้อยซึ่งพบได้มากในประเทศไทย จึงได้มีการศึกษาการแปรรูปชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงเหลวด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชั้น และเพื่อเพิ่มศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวจากชานอ้อยจึงมีการศึกษาการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมด้วย งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นเชิงเร่งปฏิกิริยาของชานอ้อย ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ ชนิดของถ่านชาร์ (ถ่านชาร์ชานอ้อยและถ่านชาร์กะลามะพร้าว) อุณหภูมิที่ใช้เผาซาร์ (600 และ 750 องศาเซลเซียส) และการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ สำหรับในช่วงแรกเป็นการศึกษาผลของการผสมชานอ้อยกับชาร์ชานอ้อยและชาร์กะลามะพร้าวที่เผาด้วยอุณหภูมิเดียวกันคือ 600 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก พบว่าปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากชานอ้อยผสมกับชาร์ชานอ้อย มีปริมาณสูงกว่าเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากชานอ้อยผสมกับถ่านชาร์กะลามะพร้าว สำหรับการทดลองในช่วงที่สองเป็นการศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้เผาซาร์ โดยเมื่อเปรียบเทียบที่การผสมชานอ้อยกับชาร์ชนิดเดียวกัน การเพิ่มอุณหภูมิในการเผาถ่านชาร์ ส่งผลให้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพลดลง และการทดลองในช่วงที่สามเป็นการศึกษาผลของการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ การใช้ตัวรองรับเป็นชาร์ที่อุณหภูมิเผาเดียวกัน พบว่าปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากชานอ้อยผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บนชาร์กะลามะพร้าว มีปริมาณสูงกว่าเชื้อเพลิงเหลวที่ได้จากชานอ้อยผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บนชาร์ชานอ้อย และแคลเซียมออกไซด์บนตัวรองรับชนิดเดียวกัน การผสมชานอ้อยกับชาร์ที่เผาที่อุณหภูมิสูงกว่า ส่งผลให้ปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวลดลง

คำสำคัญ: ชีวมวล, ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นเชิงเร่งปฏิกิริยา, ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอน

ภาควิชา เคมีเทคนิค

ลายมือชื่อนิสิต *ณภัทร ประพันธ์วงศ์*

ลายมือชื่อนิสิต *สิรินรัตน์ คำภูผา*

สาขาวิชา เคมีวิศวกรรม

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก *[Signature]*

Title Catalytic hydrothermal liquefaction of biomass by using carbonaceous catalyst

Student name Ms. Napat Praphantwong
Ms. Sirinrat Khampoopa

Advisor Assoc. Prof. Dr. Prapan Kuchonthara

**Department of Chemical Technology, Faculty of Science, Chulalongkorn University,
Academic Year 2019**

ABSTRACT

Nowadays, the demand for fossil fuels is increasing and to replace the energy from fossil fuels that are currently running out. Biofuel from biomass is one alternative that can replace fossil fuels. One of the biomasses that is popular for converting into liquid fuel is bagasse which is very common in Thailand. There are several studies of converting bagasse into liquid fuel by hydrothermal liquefaction. To increase the potential for producing liquid fuels from bagasse, some catalyst might be added. This research was aimed to study the catalytic hydrothermal liquefaction of bagasse using char. The parameters in this research are the char types (bagasse char and coconut char), calcination temperature (600°C and 750°C) and effect of calcium oxide on char. In the first part, the effect of char types has been studied. From the experiment, bagasse mix with bagasse char showed higher bio-oil yield compared to the bagasse mix with coconut char bio-oil. In the second part, the effect of calcination temperature has been studied. By mixing bagasse with the same type of char, increasing the calcination temperature decreased the yield of bio-oil. In the last part, the effect of calcium oxide on char has been studied. Using the same type of char but difference calcination temperature as support obtained bio-oil from bagasse mix with CaO/coconut char showed higher yield than bagasse mix with CaO/bagasse char bio-oil and with the same supported higher calcination temperature of char decreased the yield of bio-oil.

Keywords: Biomass, Catalytic hydrothermal liquefaction, Carbonaceous catalyst

Department of Chemical Technology

Student's signature..... *Napat Praphantwong*.....

Student's signature..... *Sirinrat Khampoopa*.....

Major: Chemical Engineering

Advisor's signature..... *Prapan Kuchonthara*.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความช่วยเหลือของรองศาสตราจารย์ ดร. ประพันธ์ คูชลธารา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่มอบความรู้ คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำวิจัย และยังช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินงานอีกด้วย รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดมา

ขอขอบคุณบุคลากรในภาควิชาเคมีเทคนิคทุกท่านที่ได้กรุณาอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องปฏิบัติการและช่วยเหลือในการใช้เครื่องมือวิเคราะห์ต่าง ๆ

ขอขอบคุณพี่ๆ เพื่อนๆ ในภาควิชาเคมีเทคนิคที่ให้คำปรึกษา ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดามารดา และครอบครัว รวมทั้งผู้มีพระคุณทุกท่านซึ่งเปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน ให้คำปรึกษา คำแนะนำ ให้กำลังใจ และการสนับสนุนด้านต่าง ๆ ให้ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	ก
ABSTRACT.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญภาพ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แนวคิดและทฤษฎี.....	4
2.2 ชีวมวล.....	5
2.3 องค์ประกอบสำคัญของชีวมวล.....	8
2.4 แนวทางการใช้ชีวมวลในประเทศไทย.....	11
2.5 กระบวนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิง.....	13
2.6 น้ำมันดิบชีวภาพ (Biocrude).....	18
2.7 กระบวนการอัพเกรดน้ำมันดิบชีวภาพ (Upgrading process).....	21
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
บทที่ 3 เครื่องมือ และวิธีการดำเนินงานวิจัย.....	27
3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี.....	27
3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	27
3.3 การดำเนินงานวิจัย.....	30
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	35
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง.....	37
4.1 การวิเคราะห์สมบัติของชีวมวล.....	37
4.2 ผลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแฟกชันในตัวทำละลายเดี่ยวในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์.....	38

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	43
5.1 สรุปผลการวิจัย	43
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	43
เอกสารอ้างอิง.....	45
ภาคผนวก	47
ภาคผนวก ก. วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของซีเมนต์	48
ภาคผนวก ข การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์	53
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดลอง	55

สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลลูโลส	8
รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของชีวมวล.....	10
รูปที่ 2.3 ส่วนต่าง ๆ ของใบและกาบใบ	12
รูปที่ 2.4 เทคโนโลยีการแปรรูปชีวมวล	14
รูปที่ 2.5 ปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในน้ำที่ความดันและอุณหภูมิสูง	17
รูปที่ 2.6 แผนผังของปฏิกริยาไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นเบื้องต้น	17
รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (high - pressure parr reactor)	28
รูปที่ 3.2 แบบจำลองของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ร่วมกับเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง	28
รูปที่ 3.3 เครื่องระเหยแบบหมุน (rotary evaporator)	29
รูปที่ 3.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography)	30
รูปที่ 3.5 ชานอ้อยก่อนเข้าเครื่องบด และเครื่องบดชีวมวลชนิดหยาบ	31
รูปที่ 3.6 ชานอ้อยชั้น +425 Micron และชานอ้อยชั้น -425 Micron ถึง +250 Micron	31
รูปที่ 3.7 ชานอ้อยชั้น -250 Micron ถึง +150 Micron และชานอ้อยชั้น -150 Micron.....	32
รูปที่ 3.8 ชานอ้อยที่จะนำไป Calcination และเครื่อง Calcination	32
รูปที่ 3.9 ชาร์ชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และชาร์ชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส ...	32
รูปที่ 3.10 ชานอ้อยก่อนเข้าเครื่องบด และเครื่องบดชีวมวลชนิดละเอียด	33
รูปที่ 3.11 กะลามะพร้าวก่อนเข้าเครื่องบด, ชาร์กะลามะพร้าว ที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียส และชาร์กะลามะพร้าว ที่อุณหภูมิเผา 750 องศาเซลเซียส	33
รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว	35
รูปที่ 4.1 ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สจากไฮโดเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นของชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อยที่เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สจากไฮโดเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นของชานอ้อยผสมชาร์กะลามะพร้าวที่เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส	39
รูปที่ 4.2 ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สจากไฮโดเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นของชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อยและชาร์กะลามะพร้าวที่เผาที่อุณหภูมิ 600 และ 750 องศาเซลเซียส	40
รูปที่ 4.3 ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สจากไฮโดเทอร์มัลลิกวิแพกชั้นของชานอ้อยผสมตัวเร่งปฏิกริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์	41

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 การประเมินศักยภาพผลผลิตทางการเกษตร	7
ตารางที่ 2.2 ชนิดของการเผาไหม้และรูปแบบของสารชีวมวล	15
ตารางที่ 2.3 การแบ่งประเภทของแกซิฟิเคชัน	16
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของน้ำมันที่ได้จากลิกวิแฟกชัน	18
ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชีวมวลชนิดต่าง ๆ	19
ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน	21
ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีที่ส่งผลต่อสมบัติของน้ำมันดีเซล	21
ตารางที่ 2.8 ร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ผลิตได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชีวมวลชนิดต่าง ๆ โดยไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและมีการสกัดแยกผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้ตัวทำละลายประเภทต่าง ๆ	22
ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี (gas chromatography)	30
ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในกระบวนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ	30
ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย และชาร์กะลามะพร้าว	37
ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์แบบประมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บนชาร์ชานอ้อย และตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บนชาร์กะลามะพร้าว	38
ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท .	55

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันมีการใช้พลังงานอย่างต่อเนื่องในอุตสาหกรรมประเภทต่าง ๆ ซึ่งเป็นผลให้เชื้อเพลิงฟอสซิลที่มีจำกัดอาจหมดไปภายในระยะเวลาไม่กี่ปี และการเผาไหม้เชื้อเพลิงฟอสซิลยังก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เช่นมลพิษทางอากาศ การเกิดฝนกรด และภาวะเรือนกระจก เป็นต้น ดังนั้นจึงมีการพัฒนาพลังงานทางเลือกเพื่อมาทดแทนพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลที่อาจหมดไปและยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยพลังงานจากชีวมวลจัดเป็นหนึ่งในพลังงานทางเลือกที่ราคาถูกและหมุนเวียนได้ อีกทั้งในประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศเกษตรกรรม จะมีชีวมวลเหลือทิ้งเช่นขานอ้อยปริมาณมาก ซึ่งการนำชีวมวลเหลือทิ้งเหล่านั้นมาผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพจะเป็นการเพิ่มมูลค่าและลดปริมาณขยะจากชีวมวลอีกด้วย ในการเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงชีวภาพนั้นอาศัยกระบวนการทางความร้อน อันได้แก่ แกซิฟิเคชัน (Gasification) การเผาไหม้ (Combustion) ไพโรไลซิส (Pyrolysis) และลิกวิแฟกชัน (Liquefaction)

ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน (hydrothermal liquefaction : HTL) ของชีวมวล คือ การเปลี่ยนสารชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ ที่มีคุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันดิบปิโตรเลียม (petroleum crude) ในสภาวะความดันสูงและอุณหภูมิปานกลาง โดยข้อดีของไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน คือ สามารถใช้ชีวมวลทั้งแบบแห้งและเปียกได้ ทำให้ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการทำวัตถุดิบให้แห้ง โดยทั่วไปกระบวนการนี้สามารถดำเนินการโดยไม่ต้องมีตัวเร่งปฏิกิริยา อย่างไรก็ตามมีการศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะร่วมในกระบวนการเพื่อปรับปรุงคุณภาพ เพิ่มร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวที่ได้ โดยตัวเร่งปฏิกิริยาโลหะส่วนใหญ่นี้มีมูลค่าสูงและการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นการเพิ่มต้นทุนการผลิต เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ โลหะเหล่านั้นจะถูกกำจัดโดยการฝังกลบ ซึ่งต้องใช้เวลานานในการย่อยสลาย และอาจเกิดการปนเปื้อนในดิน จึงมีการศึกษาการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนหรือถ่านชาร์ ซึ่งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและสามารถฝังกลบในดินได้ โดยไม่ทำให้เกิดการปนเปื้อน และเพื่อปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพที่ได้ ทำให้เกิดการศึกษาลงถึงความเป็นไปได้ในการใส่แคลเซียมออกไซด์ (calcium oxide) แทนโลหะที่มีมูลค่าสูง โดยแคลเซียมออกไซด์ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพให้มีปริมาณของออกซิเจนต่ำลง ทำให้เชื้อเพลิงเหลวชีวภาพที่ได้จะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงในปัจจุบัน

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาความเป็นไปได้ของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ ในไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน เพื่อช่วยเพิ่มร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ และมีตัวแปรที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ได้แก่ ชนิดของชาร์ (ชาร์ขานอ้อยและชาร์กะลามะพร้าว) อุณหภูมิที่ใช้เผาชาร์ (600 และ 750 องศาเซลเซียส) และการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์

1.1 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของชนิดซาร์ต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้นของชานอ้อย
2. เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิในการเผาซาร์ต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้นของชานอ้อย
3. เพื่อศึกษาผลของการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้นของชานอ้อย

1.2 ขอบเขตของงานวิจัย

ทำการทดลองแปรรูปชานอ้อยให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (high - pressure parr reactor) ขนาด 350 มิลลิลิตร และศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ คือ ชนิดของซาร์ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซาร์ และการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่มีผลต่อปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพและสมบัติของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ

1.3 สมมติฐาน

1. ที่อุณหภูมิเผา (Calcination temperature) เดียวกัน การผสมชานอ้อยกับซาร์ชานอ้อยในอัตราส่วน 1:1 จะส่งผลให้ผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพสูงขึ้น เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพที่ได้จากการผสมชานอ้อยกับซาร์กะลามะพร้าว
2. เมื่ออุณหภูมิเผา (Calcination temperature) สูงขึ้น จะส่งผลให้ผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพลดลง
3. การผสมชานอ้อยกับตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บนซาร์กะลามะพร้าวในอัตราส่วน 1:1 จะส่งผลให้ผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพมีค่าสูงขึ้น เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพที่ได้จากชานอ้อยผสมตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บนซาร์ชานอ้อย

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย

เชื้อเพลิงชีวภาพ, ชีวมวล, ไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชั้น, ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ผลิตภัณฑ์เชื้อเพลิงเหลวชีวภาพที่มีค่าความร้อนสูงและมีร้อยละผลได้เพิ่มขึ้น
2. ได้แปรรูปชีวมวลที่มีราคาถูกให้เป็นเพลิงเหลวชีวภาพที่มีราคาสูงขึ้น

1.6 วิธีการดำเนินงาน

1. ค้นคว้าและศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทั้งในและต่างประเทศ
2. เตรียมเครื่องมือ อุปกรณ์ และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย พร้อมศึกษาการใช้เครื่องมือ
3. เตรียมชีวมวลได้แก่ ชานอ้อย เพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการวิจัย โดยนำชีวมวลไปบดให้มีขนาด 250 ไมโครเมตร

4. เตรียมชีวมวลสำหรับเผาเป็นชาร์ ได้แก่ ชานอ้อย และกะลามะพร้าว โดยนำชีวมวลไปบดให้มีขนาดอยู่ในช่วง 425 ไมโครเมตร ถึง 250 ไมโครเมตร
5. วิเคราะห์สมบัติของชานอ้อยและกะลามะพร้าว
 - องค์ประกอบของชีวมวลโดยประมาณ (proximate analysis) ได้แก่ ความชื้น เถ้าสารระเหย และคาร์บอนคงตัว ตาม ASTM D3173-3175
6. เตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์
7. ศึกษาผลของตัวแปรต่าง ๆ ในการทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อย ได้แก่
 - ชนิดของชาร์ (ชาร์ชานอ้อย และ ชาร์กะลามะพร้าว)
 - อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชาร์ (600 และ 750 องศาเซลเซียส)
 - การใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ (CaO/Bagasse char(600°C), CaO/Coconut char(600°C), CaO/Bagasse char(750°C) และ CaO/Coconut char (750°C))
8. หา %Bio-oil yield, % Solid residue yield และ % Gas yield ของผลที่ได้จากการทดลอง
9. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง พร้อมเขียนรายงานการวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎี ^[1]

แม้ว่าพลังงานจากชีวมวลจะไม่ได้มีราคาที่สูงเท่ากับเชื้อเพลิงฟอสซิล ภายใต้เทคโนโลยีในปัจจุบันการผลิตสารชีวมวลเพื่อเป็นพลังงานมีข้อดีหลายประการ เช่น การลดการปล่อยแก๊สเรือนกระจกจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงฟอสซิล สร้างงานและรายได้จากการพัฒนาอุตสาหกรรมให้คนในท้องถิ่น รวมไปถึงการใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น ลดการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ แต่ประโยชน์เหล่านี้อาจเทียบไม่ได้กับราคาการผลิตสารชีวมวล การคำนึงถึงประโยชน์จะทำให้เข้าใจภาพรวมการแข่งขันของการผลิตพลังงานชีวมวล เพื่อการปรับปรุงนโยบายของการ พัฒนาการผลิตสารชีวมวลต่อไป

2.1.1 การลดลงของปริมาณน้ำมัน

ทรัพยากรป่าไม้และถ่านหินเคยอุดมสมบูรณ์และพอเพียงต่อความต้องการพลังงาน แต่มนุษย์ได้ใช้เกินกว่าที่จำเป็นเพื่อผลิตพลังงานและเทคโนโลยี ปริมาณน้ำมันสำรองของโลกมีค่าประมาณ 2000 พันล้านบาร์เรล ความต้องการบริโภคน้ำมันของโลกต่อวันเท่ากับ 71.7 ล้านบาร์เรล ซึ่งประมาณได้ว่า 1000 ล้านบาร์เรลนั้นกำลังถูกใช้ไป เมื่อราคาของปิโตรเลียมได้เพิ่มสูงขึ้น อาจจะทำให้เศรษฐกิจทรุดลงถ้าผู้คนไม่เปลี่ยนไปใช้พลังงานอย่างอื่นแทน ดังนั้นการใช้พลังงานจากชีวมวลจะทำให้ยืดอายุของปริมาณน้ำมันสำรอง

2.1.2 ภาวะโลกร้อน

เมื่อทั่วโลกมีอัตราการปล่อยแก๊สเรือนกระจก เช่น คาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพอากาศของโลก จากการประมาณในปี 2000 มีการคาดการณ์ว่าในทุก ๆ ปี จะมีการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศมากกว่า 20 ล้านเมตริกตัน ถ้าแนวโน้มเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ อาจเกิดภัยธรรมชาติอันร้ายแรง เช่น ปริมาณน้ำฝนมากผิดปกติ ซึ่งทำให้เกิดน้ำท่วมและความแห้งแล้งผิดปกติไป พลังงานชีวมวลนั้นเป็นทรัพยากรที่มีภาวะคาร์บอนสมดุลในวัฏจักรของมันและในการผลิตแก๊สเรือนกระจก พลังงานชีวมวลเป็นทรัพยากรในการผลิตพลังงานที่มีปริมาณเป็นอันดับที่สี่ของโลกรองจากถ่านหิน ปิโตรเลียม และแก๊สธรรมชาติซึ่งสามารถให้พลังงานเท่ากับร้อยละ 14 ของความต้องการพลังงานขั้นต้นของโลก ดังนั้นสารชีวมวลจึงถือเป็นแหล่งทรัพยากรพลังงานที่สำคัญของโลก

2.1.3 การยกระดับคุณภาพชีวิต

เมื่อการเกษตรมีบทบาทสำคัญในระบบเศรษฐกิจ ดังนั้นการเกษตรที่ยั่งยืนจึงจำเป็นต่อการยกระดับคุณภาพชีวิตของเกษตรกรรวมถึงรายได้และการศึกษาเป็นเรื่องสำคัญ เมื่อความรู้ของผู้นั้นในชนบทนั้นไม่สูงมาก จึงจำเป็นที่จะต้องให้ข้อมูลและเทคโนโลยีที่เหมาะสมแก่เกษตรกรเพื่อให้เข้าใจในการใช้ชีวมวลที่มีอยู่อย่างจำกัดให้มีประสิทธิภาพและเกิดผลสูงสุด

2.1.4 เพิ่มรายได้แก่เกษตรกร

แนวทางที่จะช่วยเกษตรกร หนึ่งคือช่วยเหลือทางด้านพลังงาน ในประเทศไทยมีการผลิตไบโอมิเทนเพื่อใช้ในครัวเรือนของเกษตรกรแทนที่จะต้องซื้อโพรเพน นับว่าเป็นการช่วยเกษตรกรที่ยั่งยืนเนื่องจาก

ลดการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิล สองคือช่วยเหลือทางการเงิน เมื่อเกษตรกรมีการปลูกพืชเพื่อผลิตเป็นเอทานอลขาย เกษตรกรก็จะมีรายได้เพิ่มขึ้นและจะนำเงินส่วนนี้ไปใช้จ่ายหมุนเวียนในท้องถิ่น เช่นค่าจ้างแรงงานในการเก็บชีวมวล และคนเหล่านี้จะนำเงินไปใช้จ่ายต่ออีกทอดหนึ่ง เป็นอย่างนี้ไปเรื่อย ๆ ระบบนี้ถือเป็นการกระจายรายได้ให้แก่ชุมชน

2.1.5 ความมั่นคงทางพลังงาน

ในระบบเศรษฐกิจของทุกประเทศโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศที่พัฒนาแล้วบางประเทศขึ้นกับปริมาณความมั่นคงของพลังงาน ความมั่นคงทางพลังงานหมายถึงความสอดคล้องกันของพลังงานที่มีอยู่ในรูปแบบต่าง ๆ ที่สามารถซื้อได้ ซึ่งเงื่อนไขเหล่านี้ต้องทนทานในระยะยาวเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน การให้ความสนใจในความมั่นคงของพลังงานนั้นเป็นเรื่องสำคัญเพราะโลกต้องพึ่งพาทรัพยากรน้ำมันซึ่งกระจายตัวในจุดต่าง ๆ ไม่เท่ากัน แหล่งพลังงานของโลกกำลังอยู่ในความเสี่ยง เนื่องจากความต้องการน้ำมันที่เพิ่มมากขึ้น

2.1.6 สกุดเงินต่างชาติ

นับเป็นโอกาสที่ดีในการพัฒนาประเทศเพื่อส่งออกพลังงานชีวมวล ในกรณีของการผลิตมันสำปะหลังในประเทศไทยนั้น อัตราการผลิตเพื่อเป็นอาหารและเอทานอลนั้นสมดุลกันในเวลานี้ แต่ในอนาคตปริมาณการผลิตมันสำปะหลังนั้นอาจมีปริมาณมากขึ้น

2.2 ชีวมวล ^[2]

ชีวมวล คือ สารอินทรีย์ที่เป็นแหล่งกักเก็บพลังงานจากธรรมชาติและสามารถนำมาใช้ผลิตพลังงานได้ เช่น เศษวัสดุเหลือใช้จากการเก็บเกี่ยวผลผลิตทางการเกษตรหรือจากจากกระบวนการ ผลิตในอุตสาหกรรม การแปรรูปสินค้าทางการเกษตร เช่น แกลบจากการสีข้าวเปลือก ชานอ้อยจาก การผลิตน้ำตาลทราย เศษไม้จากการแปรรูปไม้ยางพารา กากปาล์มจากการสกัดน้ำมันปาล์มดิบออก จากผลปาล์มสด กากมันสำปะหลังจาก การผลิตแป้งมันสำปะหลัง ชังข้าวโพดจากการสีข้าวโพดน้ำ เมล็ดดอก กาบและกะลามะพร้าวจากการปอกเปลือก เป็นต้น

ชีวมวลสามารถเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานได้ เพราะในขั้นตอนการเจริญเติบโตของพืชใช้คาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และกระบวนการสังเคราะห์แสง โดยสามารถเปลี่ยนเป็นแป้งและน้ำตาลแล้วกักเก็บไว้ตามส่วนต่าง ๆ ของพืช ดังนั้นเมื่อนำพืชมาเป็นเชื้อเพลิงก็จะได้พลังงานและคาร์บอนไดออกไซด์สู่บรรยากาศ หมุนเวียนเป็นวัฏจักรต่อไป นอกจากนี้การผลิตพลังงานจากเชื้อเพลิงด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสมจะไม่ก่อให้เกิดมลภาวะและไม่สร้างสภาวะเรือนกระจก เนื่องจากการใช้ชีวมวลเป็นพลังงานจะไม่เพิ่มปริมาณสุทธิของคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ เพราะการเกิดชีวมวลใหม่จะดูดซับคาร์บอนไดออกไซด์เท่ากับปริมาณที่ปล่อยออกมาจากการเผาไหม้ชีวมวล

2.2.1 ศักยภาพของชีวมวล ^[3]

การประเมินศักยภาพของชีวมวลสำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้านั้น จำเป็นต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการจัดหาชีวมวลจากแหล่งสะสมชีวมวลในพื้นที่ต่าง ๆ ตลอดจนความเป็นไปได้ทางด้านเทคโนโลยีและความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ซึ่งพลังงานที่ใช้ในการแปรสภาพชีวมวลต่อพลังงานที่ผลิตได้แสดงให้เห็น

เห็นศักยภาพของชีวมวลในการเปลี่ยนเป็นรูปพลังงานด้วยเทคโนโลยีที่เหมาะสม ซึ่งศักยภาพของชีวมวลที่นำมาใช้เป็นพลังงานทดแทนสามารถแบ่งได้เป็น 4 ประเภท ดังนี้

2.2.1.1 ศักยภาพของชีวมวลประเภทวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

ประเทศไทยนับเป็นประเทศเกษตรกรรมที่สำคัญแห่งหนึ่งของโลก ประชาชนมากกว่าร้อยละ 50 ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ผลพลอยได้ที่สำคัญนอกเหนือจากผลผลิตการเกษตรก็คือ วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ฟางข้าว แกลบ กากอ้อย กากไย และทะลายปาล์ม เป็นต้นดังแสดงในตารางที่ 2.1 และจากการศึกษาพบว่ามีพืชเกษตรกรรมอยู่ 4 ชนิด ที่มีปริมาณเพียงพอสามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานชีวภาพได้ คือ อ้อย ข้าว มันสำปะหลัง และปาล์ม โดยอ้อยมีการผลิตสูงถึง 70 ล้านตันต่อปี ซึ่งมีปริมาณมากกว่าข้าว มันสำปะหลัง และปาล์ม

2.2.1.2 ศักยภาพของชีวมวลประเภทของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์

ของเสียจากฟาร์มปศุสัตว์นับได้ว่าเป็นสารอินทรีย์ที่เหมาะสมต่อการผลิตพลังงาน โดยได้จากการย่อยสลายของสารอินทรีย์ของกลุ่มจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกาศ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ ได้แก่ แก๊ส ชีวมวล วัตถุประสงค์หลักของการสร้างบ่อผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลสัตว์ เพื่อบำบัดของเสียที่ปล่อยจาก ฟาร์มปศุสัตว์ และได้แก๊สชีวภาพมาใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า นอกจากนี้กากตะกอนที่เหลือจากกระบวนการผลิตแก๊สชีวภาพยังสามารถนำมาใช้เป็นปุ๋ยได้อีก จากข้อมูลของกรมปศุสัตว์กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พ.ศ. 2546 พบว่ามูลจากโคเนื้อมีความสำคัญสูงสำหรับการผลิตแก๊สชีวภาพ แต่ระบบผลิตแก๊สชีวภาพจากมูลโคยังไม่แพร่หลาย ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนโคต่อฟาร์มต่ำ มีปัญหาในการจัดเก็บมูล อีกทั้งมูลโคมีปริมาณกากเซลลูโลสซึ่งย่อยสลายได้ช้า ทำให้ระบบผลิตแก๊สชีวภาพมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูง ในทางตรงกันข้ามการเลี้ยงสุกรในประเทศไทยเป็นระบบฟาร์ม ซึ่งทำให้การจัดเก็บมูลสะดวกมากยิ่งขึ้นและมูลสุกรมีกากเซลลูโลสอยู่น้อยส่งผลให้เกษตรกรผู้เลี้ยงสุกรสามารถสร้างระบบผลิตพลังงานจากแก๊สชีวภาพที่คุ้มค่าต่อการลงทุนได้

2.2.1.3 ศักยภาพของชีวมวลประเภทน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร

น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรสามารถนำมาผลิตแก๊สชีวภาพได้ โดยแก๊สชีวภาพที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนในกระบวนการผลิต จากข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติ พ.ศ.2543 พบว่าโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังมีความสำคัญสำหรับผลิตแก๊สชีวภาพสูงที่สุด รองลงมา ได้แก่ โรงงานผลิตน้ำตาล และโรงงานปาล์มน้ำมัน ซึ่งขณะนี้ได้มีการพัฒนาระบบต้นแบบการผลิตแก๊สชีวภาพในโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลังและปาล์มน้ำมัน

2.2.1.4 ศักยภาพของชีวมวลประเภทขยะชุมชน

ขยะชุมชนนั้นสามารถนำมาเปลี่ยนรูปโดยใช้กระบวนการทางความร้อน-เคมี (thermal-chemical process) หรือ กระบวนการทางชีวเคมี (bio-chemical process) ซึ่งการผลิตขยะชุมชนนั้นอาจยังไม่ประสบผลสำเร็จเท่าที่ควร เนื่องจากยังมีปัญหาด้านการจัดการขยะและการปลดปล่อยมลพิษรูปแบบต่าง ๆ ทั้งจากกระบวนการทางชีวเคมีและกระบวนการทางเคมี จากข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติ พ.ศ. 2543 พบว่าศักยภาพของการผลิตพลังงานทดแทนจากขยะชุมชนของภูมิภาคต่าง ๆ มีปริมาณพลังงานที่ได้ใกล้เคียงกัน ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของจำนวนประชากรในพื้นที่อีกด้วย

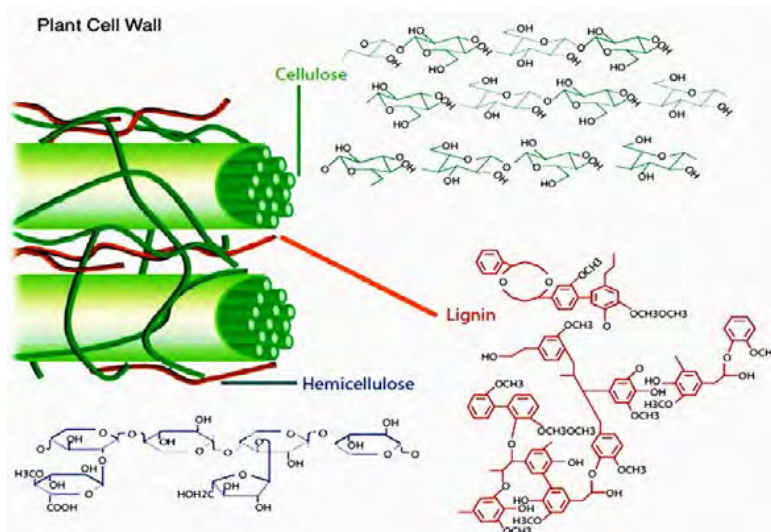
ตารางที่ 2.1 การประเมินศักยภาพผลผลิตทางการเกษตร^[4]

ชนิด	ผลผลิต (ตัน)	ชีวมวล	ปริมาณชีวมวล เหลือใช้ (ตัน)	ค่าความ ร้อน (MJ/kg)	ศักยภาพพลังงาน	
					(TJ)	(ktone)
อ้อย	66,816,446	ชานอ้อย	4,190,794,341	14.40	60,347.44	1,428.54
		ยอดและใบ	13,439,727.21	17.39	233,716.86	5,532.52
ข้าว	31,508,364	แกลบ	3,510,590.90	14.27	50,096.25	1,185.87
		ฟางข้าว	25,646,547.96	10.24	262,620.65	6,216.73
ถั่วเหลือง	190,480	ต้น/เปลือก/ ใบ	170,383.17	19.44	3,312.35	78.41
ข้าวโพด	4,616,119	ชัง	584,539.15	18.04	10,545.09	249.62
		ลำต้น	2,758,77.36	18.04	49,768.34	1,178.11
ปาล์มน้ำมัน	8,162,379	ทะลายเปล่า	1,024,868.34	17.86	18,304.15	433.29
		ใบ	162,970.6	17.62	2,871.53	67.97
		กะลา	38,959.04	18.46	719.18	17.02
		ก้าน	2,203,740	9.83	21,824.24	516.62
มัน สำปะหลัง	30,088,025	ลำต้น	2,439,236.19	18.42	44,930.73	1,063.60
		เหง้า	1,834,466.88	18.42	33,790.88	799.89
มะพร้าว	1,380,980	ก้าน	628,990.82	15.40	9,686.46	229.30
		กาบ	464,250.95	16.23	7,534.79	178.36
		กะลา	128,936.58	17.93	2,311.83	54.73
ไม้ยางพารา	3,090,280	กิ่ง/ก้าน	312,118.28	14.98	4,675.53	110.68
รวม	145,853,073		59,539,905.20		504,339.40	11,938.67

ที่มา : ศักยภาพชีวมวลเชิงพื้นที่ของประเทศไทยปี 2552

2.3 องค์ประกอบสำคัญของชีวมวล ^[5]

ลิกโนเซลลูโลส หมายถึง ชีวมวลอินทรีย์ที่ประกอบด้วย เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน พบมากในผนังเซลล์ของพืชได้แก่ เศษวัสดุเหลือทิ้งจากไม้ เศษวัสดุทางการเกษตร เช่น ชังข้าวโพด เส้นใยข้าวโพด ชานอ้อย แกลบ และฟางข้าว ขยะจากกระบวนการแปรรูปอาหารและจากบ้านเรือน รวมถึงมูลสัตว์ต่าง ๆ



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเซลลูโลส

2.3.1 เซลลูโลส (cellulose)

เซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่พบมากในผนังเซลล์ของพืช ซึ่งเป็นสารพอลิเมอร์ที่เกิดจาก ดี-กลูโคสต่อกันเป็นสายยาว มีสูตรทั่วไปคือ $(C_6H_{10}O_5)_n$ เมื่อ n คือ จำนวนหน่วยกลูโคสทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นโครงสร้าง และค่าเฉลี่ยน้ำหนักของโมเลกุลคือ 300,000-500,000 โมเลกุล^[11] ช่วยทำให้ผนังเซลล์ของพืชแข็งแรงป้องกันการแตกของเซลล์ ถึงแม้ว่าเซลลูโลสจะประกอบด้วยหน่วยของกลูโคสเหมือนกับแป้ง แต่เชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิกชนิดบีตา(8-1,4-glycosidic bonds) เอนไซม์อะไมเลสจึงไม่สามารถย่อยได้ เซลลูโลสไม่สามารถละลายน้ำได้และไม่สามารถย่อยสลายด้วยเอนไซม์ในกระเพาะอาหารหรือลำไส้ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมยกเว้นสัตว์กินพืชเท่านั้นที่สามารถใช้เซลลูโลสเป็นพลังงานเพราะสัตว์กลุ่มนี้มีจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนซึ่งมีเอนไซม์เซลลูเลสอยู่ในกระเพาะสำหรับย่อยเซลลูโลสให้เป็นกลูโคสได้^[12]

2.3.2 เฮมิเซลลูโลส (hemicellulose)

เฮมิเซลลูโลสเป็นพอลิแซ็กคาไรด์ที่ซับซ้อน เกิดขึ้นจากการเชื่อมโยงกับเซลลูโลสในผนังเซลล์ มีสูตรทั่วไปคือ $(CH_8O_4)_n$ เมื่อ n คือ จำนวนหน่วยกลูโคสทั้งหมดที่ประกอบกันเป็นโครงสร้าง เฮมิเซลลูโลสมีปริมาณการเกิดพอลิเมอร์ 50-200 หน่วย สามารถย่อยสลายได้ในน้ำ เฮมิเซลลูโลสมีทั้งโครงสร้างที่เป็นสายโซ่ตรงและโซ่กิ่งของน้ำตาลที่มีคาร์บอน 5 อะตอม น้ำตาลที่อุดมสมบูรณ์มากที่สุดในเฮมิเซลลูโลสคือไซแลน โดยจะอยู่ในไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งได้ถึงประมาณร้อยละ 10 และร้อยละ 30 ของน้ำหนักแห้ง^[11] แม้ว่าโครงสร้างของเฮมิเซลลูโลสที่แตกต่างกันจะขึ้นอยู่กับชีวมวล แต่แหล่งที่มาของเฮมิเซลลูโลสส่วนใหญ่ประกอบด้วย ดี-กลูโคไพราโนส (D-glucopyranose), ดี-กาแลกโตไพราโนส (D-galactopyranose) และโมโนเมอร์อื่น ๆ เฮมิเซลลูโลสมีโครงสร้างที่เสถียรน้อยกว่าเซลลูโลส ดังนั้นเฮมิเซลลูโลสจึงสลายตัวได้ง่ายกว่าเมื่อถูกให้ความร้อน

2.3.3 ลิกนิน (lignin)

ลิกนินเป็นพอลิเมอร์ธรรมชาติพบในผนังเซลล์พืชที่มีความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างกับเซลลูโลส และพอลิแซ็กคาไรด์ชนิดอื่น ๆ เป็นสารประกอบอะโรมาติกที่มีหน่วยของฟีนิลโพรเพนเชื่อมกับกลุ่มของไฮดรอกซิลและเมทิลผ่านพันธะของอีเทอร์ ลิกนินเป็นตัวประสานส่วนประกอบพื้นฐานของเส้นใยในพืช ลิกนินมีสมบัติที่สำคัญคือการละลายในตัวทำละลาย โดยปกติลิกนินจะไม่ละลายน้ำและตัวทำละลายที่ไม่มีขั้ว ดังนั้นจึงสามารถสกัดลิกนินได้ด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่มีขั้วสูง ขณะที่บางส่วนในกลุ่มของอัลคาไลน์ลิกนิน (alkaline lignin) สามารถละลายได้ในตัวทำละลายพวกไดออกเซน (dioxane) ไพริดีน (pyridine) และสารละลายต่างเจือจางได้ โครงสร้างของลิกนินมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้จากไฮโดรเทอร์มัล โดยพบว่าสารประกอบฟีนอลกับกลุ่มของเอทิลและเมทิลเป็นสารประกอบหลักที่ได้จากการย่อยสลายของลิกนิน

2.3.4 ค่าความร้อน (heating value) ^[6]

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเป็นเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการประเมินผลในกระบวนการทำให้เป็นของเหลว ค่าความร้อนเป็นค่าเชิงปริมาณของปริมาณพลังงานน้ำมันดิบชีวภาพซึ่งสามารถนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของการเปลี่ยนวัตถุดิบไปเป็นเชื้อเพลิง ค่าความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ค่าความร้อนสูง (higher heating value, HHV) และค่าความร้อนต่ำ (lower heating value, LHV) ค่าความร้อนสูงจะคำนึงถึงความร้อนของการกลายเป็นไอของน้ำช่วงการเผาไหม้ ในขณะที่ค่าความร้อนต่ำไม่ต้องคำนึงถึงความร้อนนั้น

ในน้ำมันเชื้อเพลิงค่าความร้อนสูงมีความสัมพันธ์กับองค์ประกอบทางเคมีที่วิเคราะห์ ได้จากการวิเคราะห์แบบแยกธาตุ และการวิเคราะห์แบบประมาณ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงได้ถูกนำมาใช้สำหรับน้ำมันดิบชีวภาพที่ผลิตได้จากการไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชัน การหาค่าความร้อนของชีวมวลขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและสมบัติของเชื้อเพลิงในรูปสัดส่วนคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ไนโตรเจน (N) ออกซิเจน (O) และซัลเฟอร์ (S) หรืออยู่ในรูปสัดส่วนคาร์บอนคงตัว (FC) สารระเหย (VM) ความชื้น (MC) และเศษเถ้าสมการที่นิยมใช้ในการหาค่าความร้อนคือ

$$\text{HHV} = 0.3536\text{FC} + 0.1559\text{VM} - 0.0078\text{ASH} \text{ (MJ/kg)}$$

โดยค่าความร้อนที่วัดได้จากสมการข้างต้นจะมีค่าความผิดพลาด (bias error) เพียงร้อยละ 0.12 ซึ่งถือว่าเป็นที่ยอมรับได้ และนอกจากนี้ค่าความร้อนสามารถคำนวณได้จากสูตรอย่างง่าย เช่นสูตรของดูลอง (Dulong formula) และสูตรของเดเมียบาส (Demirba, 1997) ดังสมการดังต่อไปนี้

สูตรของดูลอง (Dulong formula)

$$\text{HHV (MJ/kg)} = 0.3386 \times \text{C} + 1.444 \times (\text{H} - \text{O}/8)$$

สูตรของเดเมียบาส (Demirba, 1997)

$$\text{HHV (MJ/kg)} = 33.5\text{C} + 142.3\text{H} - 15.40 - 24.5\text{N}$$

$$\text{HHV (MJ/kg)} = 32.1\text{FC} + 15.34\text{VM}$$

2.3.5 การวิเคราะห์แบบประมาณและแบบแยกธาตุ ^[7]

การแสดงคุณลักษณะของเชื้อเพลิงแข็งจะใช้วิธีการวิเคราะห์แบบประมาณ ได้แก่ ความชื้น ปริมาณสารระเหย ปริมาณคาร์บอนคงตัว และเถ้า และแบบแยกธาตุจะแสดงปริมาณคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน และเถ้า

2.3.5.1 ความชื้น (moisture)

ความชื้น หมายถึง ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในชีวมวล โดยทั่วไปชีวมวลมีความชื้นค่อนข้างสูง ชีวมวลที่เหมาะสมนำไปเป็นเชื้อเพลิงในการเผาไหม้ควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 50 ปริมาณความชื้นในชีวมวลวิเคราะห์ได้จากน้ำหนักที่หายไปหลังการอบชีวมวลให้แห้งที่อุณหภูมิ 105 - 110 องศาเซลเซียส โดยทั่วไป จะทำการอบชีวมวลในเตาอบไฟฟ้าจนกว่าชีวมวลจะแห้ง หรือน้ำหนักของชีวมวลคงที่ น้ำหรือความชื้นจะระเหยออกมาจากชีวมวลในระหว่างที่ทำการอบแห้ง

2.3.5.2 ปริมาณเถ้า (ash)

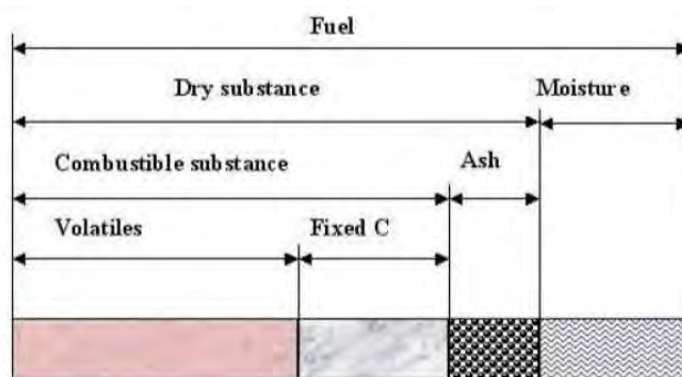
ปริมาณเถ้า คือส่วนที่เผาไหม้ไม่ได้ ชีวมวลส่วนใหญ่จะมีเถ้าประมาณร้อยละ 1 ถึง 3 ยกเว้นแกลบและฟางข้าว จะมีสัดส่วนเถ้าประมาณร้อยละ 10 ถึง 20 ปริมาณเถ้าในชีวมวลวิเคราะห์ได้จากน้ำหนักที่เหลืออยู่จากการเผาไหม้ชีวมวลภายใต้บรรยากาศอากาศที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส 1 ชั่วโมง และเผาต่อที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส 3 ชั่วโมง ส่วนประกอบอินทรีย์ในชีวมวลจะถูกเผาไหม้สมบูรณ์ กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ในขณะที่ส่วนประกอบที่เป็นสารอนินทรีย์ในชีวมวลจะถูกออกซิไดซ์ กลายเป็นสารประกอบออกไซด์เรียกว่าเถ้า

2.3.5.3 ปริมาณไอระเหย (volatiles matter)

ปริมาณไอระเหย คือส่วนที่ลุกเผาไหม้ได้ง่ายภายใต้สภาวะที่กำหนด คืออุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 นาที หรือจนกว่าน้ำหนักจะคงที่ โดยไม่ให้ชีวมวลสัมผัสกับอากาศ ชีวมวลที่มีค่าปริมาณไอระเหยสูงแสดงว่าสามารถติดไฟได้ง่าย

2.3.5.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (fixed carbon)

เป็นสารประกอบของคาร์บอนและเป็นค่าที่ใช้วัดปริมาณสารที่สามารถเผาไหม้ได้ที่เหลืออยู่ และเป็นค่าหนึ่งที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพในการเผาไหม้



รูปที่ 2.2 องค์ประกอบของชีวมวล

2.4 แนวทางการใช้ชีวมวลในประเทศไทย^[8]

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม และมีผลผลิตทางการเกษตรและผลผลิตเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีศักยภาพสูง สามารถใช้เป็นพลังงานทดแทนได้ เช่น อ้อย มันสำปะหลัง ปาล์มน้ำมัน ข้าว ข้าวโพด เป็นต้น โดยการแปรรูป ชานอ้อย กะลาปาล์ม แกลบ และชังข้าวโพด เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าและพลังงานความร้อนสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตอุตสาหกรรม ส่วนกากน้ำตาล น้ำอ้อย และมันสำปะหลังใช้ผลิตเอทานอล เป็นต้น กระทรวงพลังงานจึงมียุทธศาสตร์การพัฒนาพลังงานทดแทนจากพืชพลังงานเหล่านี้ เพื่อจะได้เป็นตลาดทางเลือกสำหรับผลิตผลการเกษตรไทย ซึ่งจะสามารถช่วยดูดซับผลผลิตทางการเกษตรและช่วยทำให้ราคาผลผลิตการเกษตรมีเสถียรภาพ และภาครัฐไม่ต้องจัดสรรงบประมาณมาประกันราคาพืชผลผลิตดังกล่าว ประกอบกับเทคโนโลยีพลังงานทดแทนจากพืชพลังงานเป็นเทคโนโลยีที่ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ

กระทรวงพลังงาน (พ.น.) ได้กำหนดแผนพัฒนาพลังงานทดแทน 15 ปี โดยมีเป้าหมายให้กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) ซึ่งเป็นหน่วยงานหลักประสานงานกับส่วนผู้เกี่ยวข้องอื่น ๆ ให้ดำเนินการจัดทำแผนปฏิบัติการตามกรอบแผนพัฒนาพลังงานทดแทน เพื่อให้สามารถดำเนินการพัฒนาพลังงานทดแทนด้านต่าง ๆ ให้สามารถผลิตไฟฟ้ารวมสะสมถึงปี 2565 จำนวน 5,604 เมกะวัตต์ นอกจากนี้ยังให้มีการพัฒนาเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้แก่ เอทานอลและไบโอดีเซลรวมทั้งพลังงานความร้อนและแก๊ส NGV ซึ่งก่อให้เกิดสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนได้ร้อยละ 20 ของปริมาณการใช้บริโภคของประเทศในปี 2565

การตั้งเป้าหมายสู่ความสำเร็จของการผลิตพลังงานทดแทนให้ได้ปริมาณดังกล่าวจำเป็นต้อง สร้างแนวทางแผนพัฒนาในแต่ละเทคโนโลยีโดยเฉพาะกับภาคเอกชน ซึ่งเป็นแนวทางหลักที่สำคัญในการขับเคลื่อนสู่ความสำเร็จได้ ต้องมีความเด่นชัดในนโยบายเพื่อให้ปรากฏต่อการลงทุนจากภาคเอกชนและสร้างผลประโยชน์ต่อการดำเนินการ

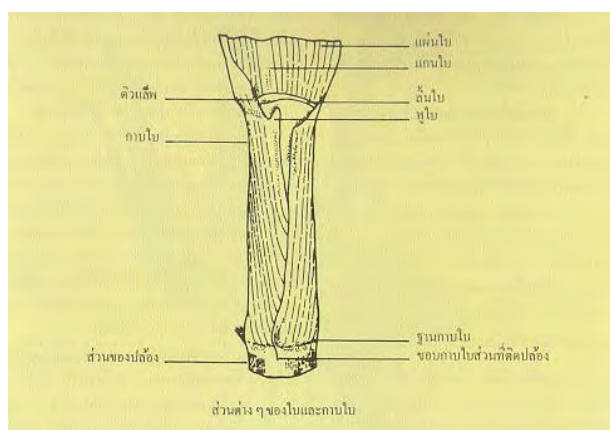
2.4.1 อ้อย^[9]

อ้อย คือพืชพวกหญ้าชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญต่อมนุษย์มากในแง่ของการใช้เป็นอาหาร อ้อยนับเป็นพืชสำคัญอันดับ 4 ของโลก เมื่อพิจารณาในแง่ของผลผลิต คิดเป็นน้ำหนักแห้งที่เก็บเกี่ยวได้ต่อเนื้อที่ต่อปี อ้อยมาเป็นอันดับแรก ทั้งนี้ เพราะอ้อยสามารถใช้ปัจจัยสำหรับการเจริญเติบโต เช่น แสงแดด น้ำ อากาศ และธาตุอาหารได้มีประสิทธิภาพมากกว่านั่นเอง นอกจากนี้อ้อยยังเป็นพืชที่ปลูกง่าย และเมื่อปลูกครั้งหนึ่งแล้วสามารถเก็บเกี่ยวได้หลายครั้ง อ้อยชอบอากาศร้อนและชุ่มชื้น ดังนั้นประเทศที่ปลูกอ้อยซึ่งมีประมาณ 70 ประเทศจึงอยู่ในแถบร้อนและชุ่มชื้น ประเทศที่ผลิตน้ำตาลจากอ้อยได้มากที่สุด คือ บราซิล ผลิตได้ 7.5 ล้านเมตริกตัน รองลงมาได้แก่ อินเดีย คิวบา ออสเตรเลีย เม็กซิโก ฟิลิปปินส์ จีน และไทย ผลิตได้ 6.0, 5.8, 3.4, 2.69, 2.67, 2.60, 2.26 ล้านเมตริกตัน ตามลำดับ ประเทศนอกเหนือจากที่กล่าวนี้ ล้วนผลิตน้ำตาลได้น้อยกว่าประเทศไทยทั้งสิ้น

2.4.1.1 ลักษณะทั่ว ๆ ไป และลักษณะทางพฤกษศาสตร์

อ้อยมีระบบรากฝอย (fibrous root system) แผ่กระจายออกโดยรอบลำต้นในรัศมีประมาณ 50-100 เซนติเมตร ลึก 100-150 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม อ้อยไม่มีราก

แก้วนอกจากเมื่อปลูกด้วยเมล็ด ปกติอ้อยขยายพันธุ์โดยใช้ลำต้นตัดเป็นท่อนๆ ละ 2-3 ตา อ้อยได้ชื่อว่า "หญ้ายักษ์" (giant grass) ทั้งนี้เพราะมีลำต้นสูงใหญ่ อ้อยที่เก็บเกี่ยวเมื่ออายุ 12 เดือน อาจมีลำต้นสูงประมาณ 2-3 เมตร และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5-5.0 เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ สภาพแวดล้อมและการปฏิบัติรักษาของชาวไร่ ลำต้นประกอบด้วยข้อและปล้องจำนวนมาก อ้อยที่ตัดเมื่ออายุ 12 เดือน จะมีปล้อง 20-30 ปล้อง แต่ปล้องเมื่อโตเต็มที่จะยาวประมาณ 10-15 เซนติเมตร ความยาวของปล้องขึ้นอยู่กับพันธุ์และสภาพแวดล้อม สีของลำต้นแตกต่างกันตามพันธุ์และสภาพแวดล้อม โดยทั่วไปมีสีแตกต่างกันตั้งแต่สีเขียวอ่อนจนถึงสีม่วงแก่ เกือบดำ ใบอ้อยมีลักษณะ คล้ายใบข้าว แต่มีขนาดใหญ่และยาวมากกว่า ใบประกอบด้วย 2 ส่วน คือ กาบใบและแผ่นใบ กาบใบ คือ ส่วนที่ติดและโอบรอบลำต้นทางด้านที่มีตา ฐานกาบใบกว้างที่สุดแล้วเรียวยาวสู่ปลายแผ่นใบ ได้แก่ ส่วนที่อยู่ต่อกาบใบขึ้นไป ทั้งสองส่วนแยกจากกันตรงรอยต่อ (blade joint) ด้านในของรอยต่อนี้จะมีส่วนยื่นเป็นเยื่อบาง ๆ รูปร่างคล้ายกระจับเรียกว่า ลิ้นใบ (ligule) ที่ส่วนปลายของกาบใบ จะมีความกว้างมากกว่าฐานของแผ่นใบ จึงทำให้มีส่วนเกินซึ่งมักจะยื่นขึ้นไปข้างบน เรียกว่า หูใบ (auricle) ซึ่งอาจจะมีทั้งสองข้าง ข้างเดียว หรือไม่มีเลยก็ได้ ลักษณะและรูปร่างของลิ้นใบและหูใบแตกต่างกันตามพันธุ์ กาบใบส่วนมากมักมีสีแตกต่างจากตัวใบ เช่น สีเขียวอ่อน หรือเขียวอมม่วง เป็นต้น ที่หลังกาบใบอาจมีขนและมีไขเกาะ เหล่านี้ล้วนเป็นลักษณะประจำพันธุ์ทั้งสิ้น ถัดจากกาบใบขึ้นไปเป็นแผ่นใบ ซึ่งมีแกนใบหรือแกนกลางใบแข็งทำให้แผ่นใบตั้งอยู่ได้ ความยาวของแผ่นใบแตกต่างกันตามพันธุ์ บางพันธุ์อาจยาวมากกว่า 2 เมตร แผ่นใบมีฐานแคบแล้วกว้างออก จนถึงกว้างที่สุดแล้วเรียวยาวสู่ปลายใบซึ่งแหลม ขอบใบมีลักษณะเป็นฟันเลื่อยคมที่ฐานของแผ่นใบด้านหลังจะพบพื้นที่ลักษณะคล้ายสามเหลี่ยม 2 รูป ซนกันที่แกนกลางใบเรียกว่า ดิวแฉัพ (dewlap) ขอบของดิวแลพมีลักษณะเป็นคลื่นยืดหยุ่นได้ ซึ่งช่วยลดการฉีกขาดของใบเมื่อถูกลม รูปร่างลักษณะและสีของดิวแลพแตกต่างกันตามพันธุ์



รูปที่ 2.3 ส่วนต่าง ๆ ของใบและกาบใบ

2.4.1.2 การเจริญเติบโตของอ้อย

อ้อยมีการเจริญเติบโตตามลำดับ ซึ่งพอจะแบ่งออกได้เป็น 4 ระยะ คือ

2.4.1.2.1. ระยะงอก (germination phase) ระยะนี้เริ่มตั้งแต่ปลูกจนกระทั่ง

หน่อโผล่พ้นดิน ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 2-3 สัปดาห์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น พันธุ์ การปฏิบัติต่อท่อนพันธุ์ และความหนาของดินที่กลบท่อนพันธุ์ เป็นต้น หน่อที่เกิดจากตาของท่อนพันธุ์เรียกว่า หน่อแรก

(primary shoot) หรือหน่อแม่ (mother shoot) จำนวนท่อนพันธุ์ที่งอกต่อไร่จะเป็นตัวกำหนดจำนวนกอ อ้อยในพื้นที่นั้น

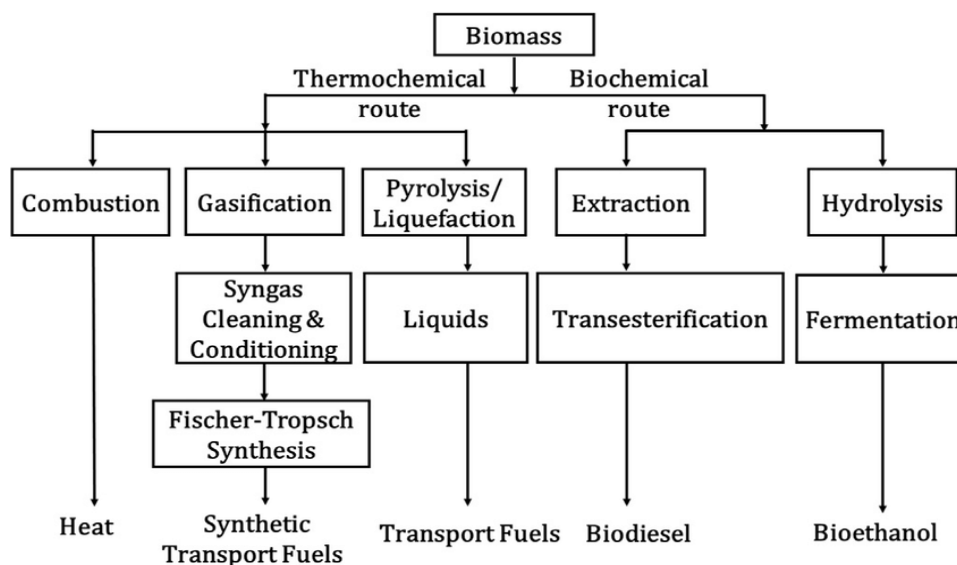
2.4.1.2.2. ระยะแตกกอ (tilling phase) ในระยะงอกนั้นอ้อยแต่ละตาดจะงอกขึ้นมาเพียงต้นเดียวเท่านั้น และเมื่อเติบโตพอสมควรจึงจะมีการแตกกอ การแตกกอเป็นลักษณะสำคัญของพืชตระกูลหญ้ารวมทั้งอ้อย เกิดขึ้นเนื่องจากตาที่อยู่ส่วนโคนของลำต้นใต้ดินของหน่อแรกเจริญออกมาเป็นหน่อชุดที่สอง และจากหน่อชุดที่สองก็เจริญเป็นหน่อชุดที่สาม หรืออาจจะมีหน่อชุดต่อไปอีก ทำให้มีจำนวนหน่อหรือลำต้นเพิ่มขึ้น ในระยะนี้อิทธิพลของยอดมีน้อยมาก จึงไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของตาที่อยู่ส่วนโคนได้ ระยะแตกกอเป็นระยะต่อเนื่องกับระยะงอก การแตกกอจะเริ่มเมื่ออายุประมาณ 1.5 เดือนเป็นต้นไป แต่ระยะที่มีการแตกกอมากที่สุดอยู่ระหว่าง 2.5-4 เดือนซึ่งก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างตามที่กล่าวแล้ว หน่อที่แตกออกมาทั้งหมดในระยะแตกกอนี้ จะเหลือเพียงประมาณครึ่งหนึ่ง เมื่อถึงเวลาเก็บเกี่ยวหน่อที่อ่อนแอกว่าตายไป เพราะการแข่งขันกันเพื่อปัจจัยในการเจริญเติบโต เช่น แสงแดด น้ำ และธาตุอาหารเป็นต้น จำนวนลำต้นต่อกอขณะเก็บเกี่ยวขึ้นอยู่กับจำนวนหน่อในระยะแตกกอนี้

2.4.1.2.3. ระยะย่างปล้อง (stalk elongation phase) เป็นระยะต่อเนื่องกับการแตกกอ ระยะนี้จะมีการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของปล้องอย่างรวดเร็ว ทำให้อ้อยทั้งลำต้นเจริญเติบโตอย่างรวดเร็วด้วย ซึ่งจะเริ่มตั้งแต่อายุประมาณ 3-4 เดือน จนถึงอายุ ประมาณ 7-8 เดือน หลังจากนั้นการเจริญเติบโตจะมีน้อยลง และจะเริ่มมีการสะสมน้ำตาลเพิ่มขึ้น ขนาดและความยาวของแต่ละต้นในระยะนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับน้ำหนักของแต่ละลำต้น และน้ำหนักแต่ละลำต้นมีผลโดยตรงต่อผลผลิต น้ำหนักของอ้อยทั้งไร่เมื่อเก็บเกี่ยว

2.4.1.2.4. ระยะแก่และสุก (maturity and ripening phase) ระยะแก่คือระยะที่มีอัตราการเจริญเติบโตช้าลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับระยะต่าง ๆ ตามที่ได้กล่าวแล้ว เมื่อการเจริญเติบโตเริ่มช้าลง น้ำตาลที่ใบสร้างขึ้นจากการสังเคราะห์แสงก็จะถูกใช้น้อยลง และมีเหลือเก็บสะสมในลำต้นมากขึ้น ซึ่งเป็นการเริ่มต้นของระยะสุกนั่นเอง การสะสมน้ำตาลจะเริ่มจากส่วนโคนไปหาปลาย ดังนั้นส่วนโคนจึงหวานก่อนและมีความหวานมากกว่าส่วนปลาย การสะสมน้ำตาลจะมีมากขึ้นโดยลำดับ จนกระทั่งส่วนโคน ส่วนกลาง และส่วนปลาย มีความหวานใกล้เคียงกัน เรียกว่า สุก

2.5 กระบวนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิง ^{[5],[7]}

เทคโนโลยีที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงชีวมวลไปเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ สามารถแบ่งออกได้เป็นสองกระบวนการ คือกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีและกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อน สำหรับกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี (biochemical process) ชีวมวลจะถูกย่อยสลายด้วยเอนไซม์และจุลินทรีย์ ส่วนกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อน (thermochemical process) ชีวมวลจะถูกย่อยสลายด้วยความร้อน กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลเป็นเทคโนโลยีการแปลงชีวมวลด้วยความร้อนไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส



รูปที่ 2.4 เทคโนโลยีการแปรรูปชีวมวล

2.5.1 กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี (biochemical process)

การย่อยสลายของสารชีวมวลโดยกระบวนการทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติ เช่น การหมักและการย่อยสลายโดยเอนไซม์ แบคทีเรียและจุลินทรีย์จนเกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นสารอินทรีย์ที่นำไปใช้เป็นพลังงานได้ในรูปของเอทานอลและมีเทน (CH₄)

2.5.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อน (thermochemical process)

กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อน เป็นการแปรรูปชีวมวลโดยการย่อยสลายชีวมวลไปเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพหรือสารเคมีที่มีค่าด้วยความร้อน กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีความร้อนแบ่งออกเป็น 4 กระบวนการย่อย คือ การเผาไหม้โดยใช้ออกซิเจนหรือการสันดาป (combustion) การเผาไหม้โดยไม่ใช้ออกซิเจนหรือไพโรไลซิส (pyrolysis) การทำให้เกิดแก๊สหรือแกซิฟิเคชัน (gasification) และลิกวิแฟกชัน (liquefaction)

2.5.2.1 การเผาไหม้ (combustion)

การเผาไหม้ เป็นปฏิกิริยาคายความร้อนร่วมกับการเกิดความร้อนสูงและแสง เป็นปรากฏการณ์ที่ปฏิกิริยาเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องโดยความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเมื่อใช้สารชีวมวลเป็นเชื้อเพลิง ปฏิกิริยาออกซิเดชันที่มีความร้อนเกิดขึ้นโดยคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ซัลเฟอร์ที่เผาไหม้ได้ และไนโตรเจนซึ่งอยู่ในสารชีวมวลทำปฏิกิริยากับออกซิเจนเรียกว่าการเผาไหม้ กระบวนการเผาไหม้เกิดขึ้นโดยปฏิกิริยาในสถานะแก๊ส ปฏิกิริยาบนพื้นผิว หรือทั้งคู่ตามด้วยกระบวนการหลอมเหลว การระเหยและไพโรไลซิส ในปฏิกิริยาการเผาไหม้จริงเกิดปรากฏการณ์หลายอย่างที่ซับซ้อนเช่น การระเหย การแพร่ การผสม การนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสี และการเกิดเปลวไฟที่อุณหภูมิสูง เชื้อเพลิงเผาโดยตรงในสถานะแก๊ส ในการเผาไหม้เป็นแบบเปลวไฟชนิดผสมมาก่อน (premix combustion) และการเผาไหม้แบบเชื้อเพลิงแพร่กระจาย (diffusion Combustion) เชื้อเพลิงของเหลวจะถูกเผาเหมือนเป็นแก๊สเผาไหม้ได้ในสถานะแก๊ส หลังจากการระเหย ที่พื้นผิวซึ่งเรียกว่าการเผาแบบระเหย น้ำมันจะถูกเผาในการเผาไหม้แบบเชื้อเพลิงระเหย

(evaporation Combustion) แต่การเผาไหม้แบบเชื้อเพลิงสลายตัว (decomposition Combustion) ยังดำเนินต่อไปซึ่งจะสลายเชื้อเพลิงบางส่วนโดยความร้อนที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยา ชนิดของการเผาไหม้มีหลายรูปแบบดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชนิดของการเผาไหม้และรูปแบบของสารชีวมวล

วิธีการเผาไหม้	ชนิดของการเผาไหม้	ลักษณะสำคัญ
การเผาไหม้แบบ fixed bed	ตะกรับวางแนวนอน/เอียง ตะกรับที่มีน้ำหล่อเย็น ตะกรับที่มีการทิ้งขี้เถ้า	ตะกรับเป็นชั้นหรือเป็นแบบเอียงชัน การเผาไหม้ของสารชีวมวลเป็นการเผาไหม้พื้นผิว ใช้ในเตาเผาแบบ batch ขนาดเล็ก สำหรับสารชีวมวลที่มีขี้เถ้าเล็กน้อย
การเผาไหม้แบบ Moving bed	ตะกรับวางแนวนอน/เอียง ตะกรับที่มีน้ำหล่อเย็น ตะกรับที่มีการทิ้งขี้เถ้า	ตะกรับจะค่อยๆเคลื่อนที่ และถูกแบ่งเป็นโซนเผาไหม้และโซนหลังจากการเผาไหม้เนื่องจากมีการปล่อยขี้เถ้าอย่างต่อเนื่อง ทำให้ตะกรับมีขนาดใหญ่ เพื่อลดการกีดขวางของขี้เถ้าในการเผา สามารถใช้กับ เชื้อเพลิงได้ตั้งแต่เป็นเศษเล็ก ๆ จนถึงเป็นขนาดบดลือค
การเผาไหม้แบบ Fluidized bed	ตะกรับวางแนวนอน/เอียง ตะกรับที่มีน้ำหล่อเย็น ตะกรับที่มีการทิ้งขี้เถ้า	ใช้ทรายเป็นเบด โดยให้ทรายและเชื้อเพลิงที่อยู่ในเตาหลอมนั้นอยู่ในสถานะเดือดที่มีความดันของอากาศในการเผาไหม้สูงและเกิดการเผาไหม้ผ่าน ความร้อนที่กักเก็บในทรายและผลการส่งผ่านความร้อนของทรายเหมาะสำหรับเชื้อเพลิงที่มีความชื้นสูงและมีคุณภาพต่ำ
การเผาไหม้แบบ Burner	เครื่องพ่นไฟ (burner)	เผาผงไม้หรือผงขนาดละเอียดเช่น เนื้อเยื่อที่อยู่ส่วนกลางของลำต้นอ้อยด้วย burner เหมือนกับที่เผาเชื้อเพลิงเหลว

ความร้อนของการเผาไหม้นั้นถูกนำไปใช้สำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้าและการผลิตความร้อน โดยที่ความร้อนคืบผ่านการถ่ายเทความร้อนของตัวกลาง เช่นไอน้ำและน้ำร้อนโดยใช้ บอยเลอร์และเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

2.5.2.2 ไพโรไลซิส (pyrolysis)

ไพโรไลซิสเป็นกระบวนการเคมีความร้อน เมื่อชีวมวลมีการสัมผัสกับสภาพแวดล้อมที่ร้อนจะเกิดการสลายตัว และแปลงสภาพเป็นแก๊สติดไฟและถ่าน โดยกระบวนการไพโรไลซิสเป็นกระบวนการแตกตัวของสารที่มีมวลโมเลกุลสูงด้วยกระบวนการทางความร้อน ภายใต้ภาวะปราศจากอากาศ โดยทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 450 - 600 องศาเซลเซียส ได้ผลิตภัณฑ์ คือ แก๊ส ของแข็ง และของเหลว โดยแก๊สที่ได้ประกอบด้วย มีเทน (CH_4) จนถึงโพรเพน (C_3H_8) ส่วนของเหลวที่ได้มีคุณลักษณะทั่วไปคล้ายน้ำมัน เรียกว่าไบโอออยล์ (bio oil) ซึ่งส่วนของของเหลวนี้นี้เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความต้องการจากกระบวนการมากที่สุดสำหรับของแข็งที่ได้จากกระบวนการ คือ ถ่าน (char) ซึ่งเป็นผงของคาร์บอนโมเลกุลขนาดเล็กที่เกิดจาก

ปฏิกิริยาแตกตัว โดยอัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อน อัตราการป้อนวัตถุดิบ เข้าสู่กระบวนการและชนิดของวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการผลิต

2.5.2.3 แกซิฟิเคชัน (gasification)

แกซิฟิเคชันเป็นกระบวนการในการเปลี่ยนวัตถุดิบชีวมวลของแข็งเป็นแก๊สเชื้อเพลิง หรือแก๊สวัตถุดิบตั้งต้นทางเคมี (Syngas) วิธีแกซิฟิเคชันถูกแบ่งออกตามส่วนประกอบของปัจจัยเงื่อนไขที่แสดง ในตารางที่ 2.3

แกซิฟิเคชันเป็นเทคโนโลยีการแปรรูปชีวมวลให้เป็นพลังงานในรูปแบบแก๊สเชื้อเพลิง (fuel gases) โดยอาศัยกระบวนการทางเคมีความร้อนจากการเผาไหม้เชื้อเพลิงในภาวะจำกัดอากาศเพื่อให้เกิดสถานะที่มีการควบคุมปริมาณออกซิเจนในสัดส่วนที่ต่ำกว่าปริมาณที่ทำให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ ทำให้ชีวมวลเกิดการแตกตัวเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ในรูปของแข็งและแก๊ส ซึ่งประกอบด้วย คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรเจน (H₂) มีเทน (CH₄) คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) ไนโตรเจน (N₂) และแก๊สอื่น ๆ เรียกว่า โพรดิวเซอร์แก๊ส (producer gas) กระบวนการแกซิฟิเคชันจากชีวมวลเป็นกระบวนการเผาไหม้แบบไม่สมบูรณ์ ดังนั้นปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นจะมีความซับซ้อนและสามารถเกิดผลิตภัณฑ์หรือแก๊สได้หลายชนิดขึ้นอยู่กับชนิดของ ชีวมวลและปัจจัยต่าง ๆ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการนี้มีทั้งแก๊สเชื้อเพลิง ของแข็ง และสิ่งเจือปนที่ไม่สามารถเผาไหม้ได้หมด ได้แก่ ถ่านชาร์ (char) เถ้า (ash) น้ำมันดิน (tar) และไอน้ำ เป็นต้น

ตารางที่ 2.3 การแบ่งประเภทของแกซิฟิเคชัน

การแบ่งประเภท	ปัจจัยเงื่อนไข
ความดันแกซิฟิเคชัน	ความดันปกติ (0.1-0.12 เมกะพาสคัล) ความดันสูง (0.5-2.5 เมกะพาสคัล)
อุณหภูมิแกซิฟิเคชัน	อุณหภูมิต่ำ (700 องศาเซลเซียสหรือต่ำกว่า) อุณหภูมิสูง (700 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า) อุณหภูมิสูงในการสลายตัว (จุด หลอมเหลวและสูงกว่า)
องค์ประกอบที่ทำให้เกิดแกซิฟิเคชัน	อากาศ ออกซิเจน ไอน้ำและ สารประกอบของสารเหล่านั้น คาร์บอนไดออกไซด์
การให้ความร้อน (การเกิดโซนอุณหภูมิ)	แกซิฟิเคชันโดยตรง (ความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาของแกซิฟิเคชัน บางส่วนของวัตถุดิบและ ออกซิเจน) แกซิฟิเคชันโดยอ้อม (ให้ ความร้อนแก่วัตถุดิบและสารที่ทำให้เกิดแกซิฟิเคชันโดย ความร้อนจากภายนอก)
ชนิดของ gasifier	ฟิกซ์เบด (fixed bed) โฟว์เบด (flow bed) โฟว์เบดแบบหมุนเวียน (circulating flow bed) เบดแบบนำพาอนุภาคให้ไหล ไปตามกระแสของของเหลว (entrained bed) เบดที่มีการผสม (mixing bed) เตาเผาแบบหมุน (rotary kiln) หอคู (twin tower) เตาหลอมเหลว (molten furnace)

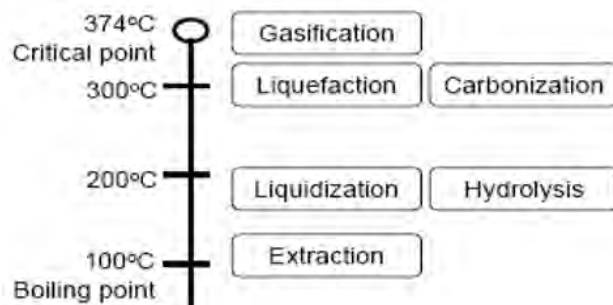
2.5.2.3 ลิควิแฟกชัน (Liquefaction)

ลิควิแฟกชัน คือ การทำให้เป็นของเหลวโดยผ่านการย่อยสลายโมเลกุลของชีวมวล ด้วความร้อนร่วมกับการใช้ตัวทำละลายที่เป็นของเหลว เช่น น้ำหรือตัวทำละลายอื่น ๆ เพื่อผลิตน้ำมัน การ

ทำลิกวิแฟกชันของสารชีวมวลนั้นสารชีวมวลจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนเหลวที่เสถียรโดยใช้อุณหภูมิต่ำและอัดความดันไฮโดรเจนซึ่งอาจมีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาร่วมกับกระบวนการดังกล่าวด้วย

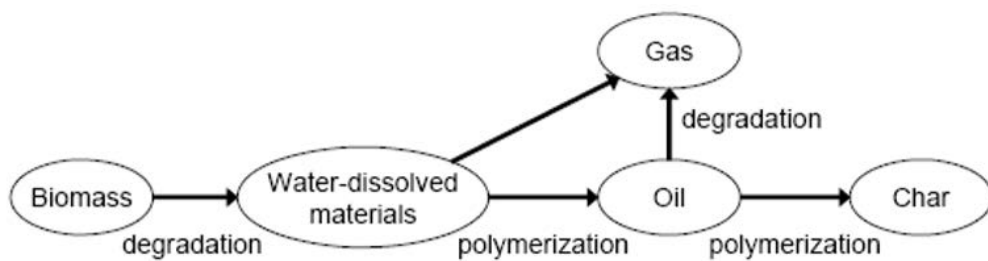
ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันเป็นกระบวนการที่อาศัยน้ำที่อุณหภูมิ 250-374 องศาเซลเซียส ภายใต้ความดัน 4-22 เมกะพาสคัล ข้อดีที่สำคัญของไฮโดรเทอร์มัลคือสารตั้งต้นไม่ต้องผ่านกระบวนการทำให้แห้ง สามารถใช้กับสารตั้งต้นที่มีปริมาณความชื้นสูงได้ เช่น สารชีวมวลน้ำ ขยะกากอินทรีย์และอื่น ๆ ในไฮโดรเทอร์มัลชีวมวลจะถูกแปลงไปเป็นผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็งที่เรียกว่า ถ่านชีวภาพ (bio-char) ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวที่เรียกว่า น้ำมันชีวภาพ (bio-oil) และผลิตภัณฑ์แก๊ส โดยการเปลี่ยนตัวแปรที่ใช้ในกระบวนการ เช่น อุณหภูมิที่ทำปฏิกิริยา เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และความดันเครื่องปฏิกรณ์ เป็นต้น

นอกจากนี้ปฏิกิริยาหลายชนิดสามารถเกิดได้ที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันดังแสดงในรูปที่ 2.5 แสดงปฏิกิริยาซึ่งเกิดขึ้นในน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิสูง ที่ประมาณ 100 องศาเซลเซียส สารที่ละลายได้จะละลายในน้ำและเหมาะกับการสกัดสาร เหนืออุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียสเกิดการไฮโดรไลซิสและสารชีวมวลเช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส โปรตีนและอื่น ๆ จะถูกย่อยจากพอลิเมอร์เป็นโมโนเมอร์ และที่อุณหภูมิประมาณ 200 องศาเซลเซียสและความดัน 1 เมกะพาสคัล ของแข็งจำพวกสารชีวมวลจะถูกทำให้เป็นสารผสมในของเหลว (sturry) ที่อุณหภูมิประมาณ 300 องศาเซลเซียสและความดัน 10 เมกะพาสคัล จะเกิดลิกวิแฟกชันขึ้นทำให้ได้สารจำพวกน้ำมัน เมื่อเงื่อนไขของปฏิกิริยาเกิดการเปลี่ยนแปลง เช่น เวลาในการทำปฏิกิริยา ผลิตภัณฑ์หลักก็จะเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 2.5 ปฏิกิริยาที่เกิดในน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิสูง

ไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันมีการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัวและปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน แผนผังปฏิกิริยาพื้นฐานแสดงในรูปที่ 2.6 ในขั้นตอนแรกสารชีวมวลจะถูกสลายเป็นสารที่ ละลายน้ำ จากนั้นสารที่ละลายน้ำจะเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันเปลี่ยนเป็นน้ำมัน เมื่อเกิดปฏิกิริยานานขึ้นน้ำมันที่เกิดขึ้นจะเกิดพอลิเมอร์ไรเซชันเปลี่ยนเป็นชาร์



รูปที่ 2.6 แผนผังของปฏิกิริยาไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันเบื้องต้น

น้ำมันผลิตภัณฑ์จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน

สมบัติของน้ำมันที่เกิดขึ้นโดยลิควิแพกชันถูกแสดงในตารางที่ 2.4 ปฏิกริยาเกิดขึ้นโดยไม่มีไฮโดรเจนและคาร์บอนมอนอกไซด์ และมีตัวเร่งปฏิกริยาจำพวกแอลคาไลน์สำหรับไม้แต่ไม่มีตัวเร่งปฏิกริยาสำหรับกากสิ่งปฏิกูล น้ำมันที่เกิดขึ้นมีปริมาณออกซิเจนสะสมประมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ดังนั้นค่าความร้อนที่ได้จากการเผาปิโตรเลียม นอกจากนั้นความหนืดยังมีค่าสูง น้ำมันที่ได้จากไม้จะมีปริมาณกรดมากกว่าซึ่งสามารถกัดกร่อนและเกิดพอลิเมอร์เซชันระหว่างการกักเก็บ

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของน้ำมันที่ได้จากลิควิแพกชัน

สารชีวมวล	ไม้	กากสิ่งปฏิกูล
องค์ประกอบที่เป็นธาตุ (ร้อยละโดยน้ำหนัก)		
คาร์บอน	72	71
ไฮโดรเจน	6	9
ไนโตรเจน	-	6
ออกซิเจน	22	16
ไฮโดรเจนต่อคาร์บอน	1	1.52
ค่าความร้อนที่ได้จากการเผาไหม้สูงสุด (เมกะจูลต่อกิโลกรัม)	29-30	33-34
ความหนืด (มิลลิพาสคัลวินาที)	$>10^6$	10^3-10^4

2.6 น้ำมันดิบชีวภาพ (Biocrude) ^[10]

โดยทั่วไปของน้ำมันดิบชีวภาพเป็นของเหลวอินทรีย์สีน้ำตาลดำที่สามารถละลายน้ำได้ประกอบไปด้วยสารอินทรีย์ที่มีประจุอยู่ประมาณร้อยละ 75-80 โดยน้ำหนัก มีน้ำอยู่ประมาณร้อยละ 20-25 และมีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบที่สูงถึงร้อยละ 35-40 โดยน้ำหนัก องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชัน เช่นอุณหภูมิ, ตัวทำละลาย, ความหนาแน่นของตัวทำละลาย เวลาที่ใช้ในการทำปฏิกริยา เป็นต้น แต่องค์ประกอบของวัตถุดิบตั้งต้นมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพ

การเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและทางเคมี เช่น ความหนาแน่น ความหนืด อัตราส่วน ไฮโดรเจนต่อคาร์บอน (HVC) และอัตราส่วนออกซิเจนต่อคาร์บอน (O/C) ของน้ำมันดิบชีวภาพที่ผ่านการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันของชีวมวลตั้งต้นที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของ
ชีวมวลชนิดต่าง ๆ

ชนิดของชีวมวล	ชีวมวล	ความหนืด (เซนติ พอยซ์)	ความ หนาแน่น (กิโลกรัม/ ลิตร)	ค่าความร้อนการ เผาไหม้สูงสุด (เมกะจูล/ กิโลกรัม)	อัตราส่วน ไฮโดรเจนต่อ คาร์บอน (H/C)	อัตราส่วน ไฮโดรเจนต่อ คาร์บอน (H/C)
ชีวมวล	ชานอ้อย	6.7×10^5	-	31	1.12	0.21
	เปลือกมะพร้าว	1.3×10^6	-	30	1.00	0.21
	ซังข้าวโพด	1.6×10^6	-	30	1.01	0.21
สาหร่าย	Botryococcus braunii	64-160 (50°C)	-	48	2.42	0.02
	Spirulina platensis	189.80 (40°C)	0.97	34	1.44	0.10
เชื้อเพลิง	น้ำมันดีเซล	1.1-3.5 (40°C)	0.85	45.1	1.79	0
	ไบโอดีเซล	1.7-5.3 (40°C)	0.88	40.5	1.87	0.11

2.6.1 สมบัติทางกายภาพ

2.6.1.1 ความหนืด (viscosity)

ความหนืดเป็นตัวชี้วัดพฤติกรรมการไหลของของเหลว สำหรับความหนืดของสารประกอบอินทรีย์จะเกี่ยวข้องกับโครงสร้างทางเคมี เช่น ไฮโดรคาร์บอนโซ่ตรงจะมีความหนืดมากกว่าไฮโดรคาร์บอนที่เป็นโซ่กิ่ง และกลุ่มของแอลกอฮอล์หรือกรดจะมีผลกับความหนืดมากกว่าเมื่อเทียบกับเอสเทอร์และคีโตน

น้ำมันเชื้อเพลิงที่มีความหนืดสูงเกินไปก็ส่งผลให้เกิดการเผาไหม้ที่ไม่ดี เพราะจะทำให้เครื่องยนต์ต้องเพิ่มการทำงานโดยการสูบน้ำมันเชื้อเพลิงมากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงมีปริมาณความหนืดสูงก็จะสังเกตเห็นปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์เพิ่มสูงตาม ในทางตรงกันข้ามความหนืดของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ต่ำมากจะนำไปสู่การหล่อลื่นที่ดีของปั๊มหัวฉีดของน้ำมันเชื้อเพลิง จะก่อให้เกิดการรั่วไหลและการสึกหรอเพิ่มขึ้น ^[1]

2.6.1.2 ความหนาแน่น (density)

ความหนาแน่นของน้ำมันเชื้อเพลิงมีความสัมพันธ์กับปริมาตรของเชื้อเพลิงที่ใช้ในกระบอกสูบ เชื้อเพลิงที่มีความหนาแน่นสูงจะส่งพลังงานออกมามากผ่านการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงที่มีมวลมาก

นอกจากนี้ยังพบว่าความหนาแน่นมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนออกไซด์ (NO) และคาร์บอนมอนอกไซด์ที่ปล่อยออกมาด้วย

2.6.1.3 ค่าความร้อน (heating value)

ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเป็นเกณฑ์ทั่วไปสำหรับการประเมินผลในกระบวนการทำให้เป็นของเหลว ค่าความร้อนเป็นค่าเชิงปริมาณของปริมาณพลังงานน้ำมันดิบชีวภาพซึ่งสามารถนำมาใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของการเปลี่ยนวัตถุดิบไปเป็นเชื้อเพลิง ค่าความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ค่าความร้อนสูง และค่าความร้อนต่ำ

2.6.2 สมบัติทางเคมี

2.6.2.1 ปริมาณออกซิเจน (Oxygen content)

ปริมาณออกซิเจนของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากลิกนินจะมีความสัมพันธ์กับปฏิกิริยาตีพอลิเมอร์ไรเซชันของสารประกอบในชีวมวล เช่น เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน ซึ่งสารประกอบออกซิเจนเหล่านี้จะอยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ แอลกอฮอล์ คีโตน แอลดีไฮด์ น้ำตาล ฟิวแรน ฟีนอล และสารประกอบออกซิเจนอื่น ๆ ในการกลั่นน้ำมันดิบนั้นออกซิเจนจะถูกกำจัดออกไปเพื่อป้องกันการเร่งปฏิกิริยาการเสื่อมสภาพในกระบวนการรีฟอร์มมิ่ง

2.6.2.2 ปริมาณไนโตรเจน (nitrogen content)

น้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกนินจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนไม่เกินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก มีรายงานว่าน้ำมันดิบชีวภาพที่มีปริมาณไนโตรเจนสูงเป็นน้ำมันดิบชีวภาพที่ผลิตได้จากขยะ กากตะกอนน้ำเสีย และสาหร่าย โดยสูงถึงร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก เป็นผลมาจากปริมาณโปรตีนที่อยู่ในวัตถุดิบตั้งต้น

2.6.2.3 ปริมาณกำมะถัน (Sulphur content)

ปริมาณกำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิงจะถูกควบคุมเนื่องจากการเผาไหม้กำมะถันในน้ำมันเชื้อเพลิงจะทำให้เกิดอนุภาคของซัลเฟอร์ออกไซด์ วัสดุจากชีวมวลและสาหร่ายจะมีปริมาณกำมะถันน้อยมาก โดยน้ำมันดิบชีวภาพที่ผลิตได้จะมีปริมาณกำมะถันร้อยละ 0.1-1.3 โดยน้ำหนัก

2.6.2.4 องค์ประกอบทางเคมี (Chemical composition)

น้ำมันดีเซลส่วนใหญ่ประกอบด้วยแอลเคน แอลคีนและอะโรเมติก ในขณะที่ไบโอดีเซลประกอบด้วยสารประกอบออกซิเจน ส่วนน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิกนินจะประกอบด้วยองค์ประกอบที่ซับซ้อนของสารเคมีอินทรีย์ที่มีออกซิเจนเป็นองค์ประกอบ เช่น อะลิฟาติก น้ำตาล โอลิโกเมอร์ และสารประกอบไนโตรเจน ดังแสดงในตารางที่ 2.6

องค์ประกอบทางกายภาพของน้ำมันดีเซลและน้ำมันไบโอดีเซลได้รับการศึกษามากแล้ว ในขณะที่น้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกนินยังไม่ค่อยได้รับความสนใจ ตารางที่ 2.7 แสดงองค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำมันดีเซลและผลกระทบที่เกี่ยวกับคุณสมบัติของน้ำมันเชื้อเพลิง โดยสารประกอบสายโซ่ยาวและกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวจะส่งผลต่อสมบัติของน้ำมันดีเซล การเพิ่มความยาวของสาย

โซ่จะเป็นการเพิ่มค่าซีเทน ค่าความร้อนและความหนืด ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของกรดไขมันไม่อิ่มตัวจะลดความหนืดและค่าซีเทน แต่ความหนาแน่นและค่าความร้อนจะเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 2.6 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์

องค์ประกอบหลัก (Main components)	ร้อยละของพื้นที่ใต้กราฟ (Area%)*
Phenolics	6%-65%
Esters	2%-44%
Aromatics and heterocyclic	6%-35%
Aldehydes	0%-18%
Carboxylic acids	2%-40%
Ketones	0%-38%
Alkanes	9%-13%
Nitrogenates	12-23%

* ผลจากการวิเคราะห์โดยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี-แมสสเปกโตรเมตรี (gas chromatography mass spectrometry)

ตารางที่ 2.7 องค์ประกอบทางเคมีที่ส่งผลต่อสมบัติของน้ำมันดีเซล

Group	Ignition Quality	Heating Value	Density
n-Alkanes	Good	Low	Low
Iso-alkanes	Low	Low	Low
Alkenes	Low	Low	Low
Cycloalkanes	Moderate	Moderate	Moderate
Aromatics	Poor	High	High

2.7 กระบวนการอัพเกรดน้ำมันดิบชีวภาพ (Upgrading process)

เนื่องจากความคล้ายคลึงกันของไพโรไลซิสและไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ จึงมีการศึกษาการอัพเกรดน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์โดยศึกษาจากการอัพเกรดน้ำมันที่ได้จากไพโรไลซิส โดยการอัพเกรดน้ำมันที่ได้จากไพโรไลซิสก็มีแรงบันดาลใจมาจากเทคโนโลยีการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียม

2.7.1 กระบวนการแยก (separation)

ผลิตภัณฑ์จากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ประกอบไปด้วย แก๊ส น้ำมัน ส่วนของน้ำมันที่ละลายน้ำ และกากของแข็ง การศึกษาเกี่ยวกับไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์และไพโรไลซิสของชีวมวลจะใช้วิธีการแยกทางกายภาพ โดยจะแยกบางส่วนของผลิตภัณฑ์มาทำการวิเคราะห์ การกำจัดปริมาณน้ำในน้ำมันมีความสำคัญโดยเฉพาะสำหรับกระบวนการอัพเกรด เพราะนี้อาจทำให้ตัวเร่งปฏิกิริยาไม่ทำงาน

2.7.1.1 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction)

การเติมตัวทำละลายลงไปสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกและการสกัดผลิตภัณฑ์ของเหลวสามารถแยกออกเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่เป็นน้ำและส่วนที่เป็นน้ำมัน ผลจากการแยกน้ำมันดิบพบว่าในส่วนน้ำมันมีความชื้นประมาณร้อยละ 5

ความชื้นของตัวทำละลายเป็นตัวแปรที่สำคัญสำหรับการพิจารณาในการเลือกตัวทำละลายที่เหมาะสม เพราะในน้ำมันดิบชีวภาพมีสารที่มีขี้ขี้อยู่มาก การผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากการไพโรไลซิสของขานอ้อย โดยใช้ตัวทำละลายที่มีขี้คือ เพนเทน เบนซีน ไดคลอโรมีเทน เอทิลอะซิเตทและเมทานอลพบว่าส่วนที่ถูกสกัดโดยใช้ตัวทำละลายเป็นไดคลอโรมีเทนและเมทานอลให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพมากที่สุด และการใช้เอทิลอะซิเตทนั้นสามารถไปแยกฟีนอลออกจากน้ำมันชีวภาพจากการไพโรไลซิสได้จากการศึกษาลิควิแฟกชันของชีวมวล พบว่าผลิตภัณฑ์น้ำมันสามารถสกัดออกได้โดยใช้ตัวทำละลาย เช่น อะซิโตน เตตระไฮโดรฟูแรน เอทานอล คลอโรฟอร์ม หรือไดคลอโรมีเทน

น้ำมันดิบชีวภาพที่ผลิตได้จากสาหร่ายประกอบไปด้วยสารประกอบแอลเคน กล่าวคือการใช้ตัวทำละลายที่ไม่มีขี้จะให้ผลที่ดีกว่า การผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันจากสาหร่ายโดยใช้ตัวทำละลายไม่มีขี้ คือ เฮกซะ เดกเคน เดกเคน เฮกเซนและไซโคเฮกเซน และตัวทำละลายมีขี้ คือ เมทอกซีไซโคลเพนเทน ไดคลอโรมีเทน และคลอโรฟอร์ม พบว่าการใช้ตัวทำละลายไม่มีขี้ส่งผลให้ร้อยละผลได้ของน้ำมันดิบชีวภาพสูงขึ้น เนื่องจากมีความเหมือนกันของการไม่มีขี้ของตัวทำละลายและน้ำมันดิบชีวภาพที่เป็นคาร์บอนไฮดรอกไซด์ ในขณะที่การใช้ตัวทำละลายที่เป็นสารที่มีขี้จะทำให้มีปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น ตารางที่ 2.8 แสดงร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ผลิตได้จากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของชีวมวลชนิดต่าง ๆ โดยไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและมีการสกัดแยกผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้ตัวทำละลายประเภทต่าง ๆ

ตารางที่ 2.8 ร้อยละผลได้ของน้ำมันที่ผลิตได้จากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของชีวมวลชนิดต่าง ๆ โดยไม่มีการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาและมีการสกัดแยกผลิตภัณฑ์น้ำมันดิบชีวภาพโดยใช้ตัวทำละลาย ประเภทต่าง ๆ

ชีวมวล	ตัวทำละลาย	ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ (โดยน้ำหนัก)
ขานอ้อย	อะซิโตน	59
ไม้ปืช	อะซิโตน	28
สาหร่าย <i>Botryococcusbraunii</i>	ไดคลอโรมีเทน	58
สาหร่าย <i>Chaetomorpha</i>	ไดคลอโรมีเทน	17
สาหร่าย <i>Chlorella</i>	ไดคลอโรมีเทน	42
สาหร่าย <i>Cladophoracoelothrix</i>	ไดคลอโรมีเทน	20
สาหร่าย <i>Cladophoravagabunda</i>	ไดคลอโรมีเทน	28
กาบมะพร้าว	อะซิโตน	28
กะลามะพร้าว	อะซิโตน	34

ตารางที่ 2.8 (ต่อ)

ชีวมวล	ตัวทำละลาย	ร้อยละผลได้ของน้ำมันชีวภาพ (โดยน้ำหนัก)
ต้นข้าวโพด	อะซิโตน	28
ซังข้าวโพด	อะซิโตน	76
ขยะ	ไดคลอโรมีเทน	22
ฟางข้าว	อะซิโตน	23
	เตตระไฮโดรฟูแรน	40
เปลือกมะกอก	อะซิโตน	23
เปลือกสน	อะซิโตน	21
ใบสับปะรด	อะซิโตน	24
แกลบ	อะซิโตน	1.7
	ไดเอทิลอีเทอร์	29

2.7.1.2 การกลั่น (distillation)

กระบวนการแยกที่นำมาประยุกต์คือการกลั่น การกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมถูกใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการแยกน้ำมันดิบชีวภาพ วิธีการกลั่นน้ำมันดิบชีวภาพมีหลาย วิธีการขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพและเคมีของสารตั้งต้น การกลั่นเป็นการแยกสารออกโดยใช้ความต่างกันของจุดเดือด การกลั่นสุญญากาศจะทำเมื่อมีการลดความดัน โมเลกุลของเหลวเมื่อรับพลังงานความร้อนจะลั่นสะเทือนและทำลายแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสารจึงกลายเป็นไอได้ ไอที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดความดันเรียกว่า “ความดันไอ” เมื่อความดันไอของเหลวเท่ากับความดันบรรยากาศเหนือของเหลวที่จุดเดือดของเหลวจะเดือด ของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำกว่าจะกลั่นแยกตัวออกมาก่อน โดยของเหลวจะเดือดกลายเป็นไอ แล้วไอนั้นจะควบแน่นกลับมาเป็นของเหลวไหลลงไปในภาชนะอีกใบหนึ่ง

การกลั่นถูกใช้ในการศึกษาลักษณะของน้ำมันชีวภาพที่ได้จากไพโรไลซิส อุณหภูมิที่ใช้อยู่ในช่วง 100-250 องศาเซลเซียสที่ความดันบรรยากาศ และ 80-230 องศาเซลเซียสสำหรับการ กลั่นสุญญากาศ การกำจัดความชื้นเป็นผลมาจากการกลั่น โดยพบว่า การกลั่นสามารถกำจัดน้ำได้ร้อยละ 0.49 ถึง 6.46 ชั้นแรกของการกลั่นแบบสุญญากาศคือการกำจัดน้ำและไฮโดรคาร์บอนเบา จาก การสังเกตพบว่าความหนืดของส่วนที่เบาจะน้อยกว่าส่วนที่เป็นน้ำมันชีวภาพ เนื่องจากสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าจะถูกแยกออกมามากกว่า

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Yamin Hu และคณะ ^[11] ได้ทำการศึกษาการผลิตเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพและชาร์โดยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วและไฮโดรเทอร์มัลลิกวิฟแฟกชัน ด้วยสาหร่ายไส้ไก่ แกลบและการผสมสาหร่ายไส้ไก่กับแกลบ

ผลจากการวิจัยการผลิตโดย กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์มีร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพสูงกว่าและร้อยละผลได้ของชาร์ ต่ำกว่าการผลิตโดยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วเมื่อใช้วัตถุดิบชนิดเดียวกัน เชื้อเพลิงเหลวชีวภาพโดย กระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ มีสารประกอบขนาดใหญ่ (กรดพาลมิติก ไซโคเพนเทน และ เอสเทอร์) ไฮโดรคาร์บอน และสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบมากกว่าการผลิตโดยกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็ว ในขณะที่เชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วมีสารประกอบอะโรมาติกมากกว่า นอกจากนี้ทำการศึกษาศักยภาพการเสริมประสิทธิภาพกันระหว่างกระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วและไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ ผลเสริมฤทธิ์กันดังกล่าวนำไปสู่การปรับปรุงคุณภาพเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพโดยปฏิกิริยาดีออกซิเดชัน โดยการเพิ่มอัตราส่วน H/C ในเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากกลบผสมสำหรับใส่ไก่โดย กระบวนการไพโรไลซิสร่วมและการลดอัตราส่วน O/C ในเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ ซึ่งการผสมกลบกับสำหรับใส่ไก่เพิ่มประสิทธิภาพของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ

Yong JieDing และคณะ^[12] ได้ทำการศึกษาค้นคว้าของตัวแปรที่มีต่อลิควิแพกซ์เชิงเร่งปฏิกิริยาของฟางข้าว โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย 4 ตัวแปรคือ ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา (SBA-15, Al/SBA-15, Ni/SBA-15 และ Ni-Al/SBA-15) ชนิดของตัวละลาย (น้ำ, เอทานอล และ เมทานอล) อุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา (260, 280 และ 300 องศาเซลเซียส) และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา (ร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก) ทำการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง ในบรรยากาศไนโตรเจน เมื่อเสร็จสิ้นปฏิกิริยาแล้ว นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปทำการหาร้อยละผลได้ของของแข็งชีวภาพ (bio-char), เชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ (bio-oil) และแก๊ส ในการศึกษาผลของชนิดตัวเร่งปฏิกิริยาและชนิดของตัวทำละลาย พบว่าเมื่อใช้ตัวทำละลายเอทานอล ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni /SBA-15 ให้ผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพสูงสุดคือร้อยละ 56.2 โดยน้ำหนัก จึงทำการศึกษาค้นคว้าของปริมาณตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/SBA-15 พบว่าปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/SBA-15 ร้อยละ 10 และร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ให้ผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพสูงสุดอยู่ในช่วงร้อยละ 56.2 ถึง 56.6 โดยน้ำหนัก และทำการศึกษาค้นคว้าของอุณหภูมิที่ใช้ทำปฏิกิริยา เมื่อใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Ni/SBA-15 ปริมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ในตัวทำละลายเอทานอล พบว่าผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพสูงสุดเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 36.8 เป็นร้อยละ 56.2 โดยน้ำหนัก <ตัดทิ้ง มันสูงสุดที่ 280 องศาเซลเซียส>

Zheting Bi และคณะ^[13] ได้ทำการศึกษาค้นคว้าการผลิตเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากขานอ้อยข้าวฟ่างที่ผ่านการปรับปรุงและล้างแล้ว ด้วยไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาที่แตกต่างกัน 6 ชนิดที่อุณหภูมิแตกต่างกัน 2 อุณหภูมิคือ 300 และ 350 องศาเซลเซียส โดยตัวเร่งปฏิกิริยาทั้ง 6 ชนิดได้แก่ โพลีเอทิลีนคาร์บอเนต, โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์, กรดฟอร์มิก, Ni/Si-Al, นิกเกิลฟอสไฟด์ และซีโอไลต์ จากเกณฑ์สองข้อคือผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพสูงและผลได้ของกากของแข็งต่ำ ตัวเร่งปฏิกิริยาโพลีเอทิลีนคาร์บอเนต, โพลีเอทิลีนไฮดรอกไซด์ และ Ni/Si-Al ให้ผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพร้อยละ 61.8, 42.3 และ 45.0 โดยน้ำหนัก ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียสตามลำดับ และเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากตัวเร่งปฏิกิริยาโพลีเอทิลีนคาร์บอเนตยังให้ค่าความร้อนสูงเท่ากับ 33.1 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม จากการวิเคราะห์องค์ประกอบพบว่าเชื้อเพลิงเหลวนี้นี้ยังมีปริมาณคาร์บอนสูง และมีปริมาณไนโตรเจนและซัลเฟอร์ต่ำ อย่างไรก็ตามเชื้อเพลิง

เหลวชีวภาพนี้มีปริมาณของออกซิเจนที่ค่อนข้างสูงคือร้อยละ 15 จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงก่อนที่จะนำเข้าสู่กระบวนการกลั่นต่อไป

Omid Noruzi และคณะ^[14] ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยน *Cladophora glomerata* ซึ่งเป็นสาหร่ายสีเขียว พบได้ในทะเลแคสเปียน เป็นผลิตภัณฑ์แก๊ส ของเหลว และ ของแข็ง ผ่านการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิแตกต่างกันเพื่อพิจารณาถึงศักยภาพในการผลิตเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ และแก๊สที่มีส่วนผสมหลักคือไฮโดรเจน ในอนาคต จึงทำการทดลองปฏิกิริยาแบบไร้ตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ โดยสัดส่วนของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพสูงสุด ได้จากการทดลองที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส และการทดลองร่วมกับตัวเร่งปฏิกิริยาซาร์ชีวภาพ ที่ได้จากอุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส พบว่าปริมาณของฟีนอลเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 8.5 เป็นร้อยละ 20.76 ยิ่งไปกว่านั้นความเข้มข้นของไฮโดรเจนและการเลือกเกิดไฮโดรเจนยังเพิ่มขึ้น 1.37 และ 1.59 เท่าตามลำดับ

Lujang Xu และคณะ^[15] ได้ทำการศึกษาผลของการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา CaO/char ต่อได้ออกซิเจนชั้นของน้ำมันถั่วเหลืองผ่านกระบวนการไพโรไลซิสเชิงเร่งปฏิกิริยาแบบเร็ว พบว่าแคลเซียมไฮดรอกไซด์เปลี่ยนพฤติกรรมการสลายตัวทางความร้อนของฟีนอล พอร์มาลดีไฮด์ เรซิน และส่งผลให้เกิดปฏิกิริยาการแตกตัวเพื่อสร้างสารประกอบโมโนฟีนอล โดยสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตน้ำมันที่มีส่วนประกอบหลักคือฟีนอลร้อยละ 82.8 โดยน้ำหนัก คือมีผลได้ร้อยละ 37.3 โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส และตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมไฮดรอกไซด์ร้อยละ 5 กากของแข็งจะถูกไพโรไลซิสเพิ่มเติมที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เพื่อผลิตตัวเร่งปฏิกิริยา CaO/char ซึ่งช่วยลดปริมาณออกซิเจนในเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากร้อยละ 14.4 เป็นร้อยละ 2.4 ในไพโรไลซิสของน้ำมันถั่วเหลือง โดยพื้นที่ใต้พีคของไฮโดรคาร์บอนอะโรมาติกในน้ำมันคือร้อยละ 86.8 และสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงได้

Elbager M.A.Edreis และคณะ^[16] ได้ทำการศึกษาปฏิกิริยาคาร์บอนไดออกไซด์แก๊สซิฟิเคชัน พฤติกรรมทางความร้อนและพลังงานกระตุ้นของซาร์ซานอ้อย (SCB) ที่ถูกเตรียมที่ 500, 800 และ 900 °C และวิเคราะห์โดย thermogravimetric analysis (TGA) ภายใต้สภาวะนอนไอโซเทอร์มัลที่อัตราการการเพิ่มของอุณหภูมิแตกต่างกันคือ 20 30 และ 40 องศาเซลเซียสต่อนาที และได้ทำการศึกษาลักษณะ (โครงสร้างทางกายภาพและทางเคมี) ของซาร์ซานอ้อยจากตัวแปรอุณหภูมิของกระบวนการไพโรไลซิส จากการวิเคราะห์พื้นที่ผิว Brunauer – Emmett – Teller (BET) และเทคนิค Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าคาร์บอนไดออกไซด์แก๊สซิฟิเคชันของซาร์ซานอ้อยนั้นเกิดขึ้นเกือบทั้งหมดในกระบวนการเดียวเพราะมันแสดงให้เห็นว่ามีพีคเดียวใน DTG curve การเกิดปฏิกิริยาของซาร์แปรผกผันกับอุณหภูมิของไพโรไลซิสและแปรผันตรงกับอัตราการแก๊สซิฟิเคชัน เมื่ออุณหภูมิของไพโรไลซิสเพิ่มขึ้นโครงสร้างทางกายภาพของซาร์(พื้นที่ผิว BET และ ลักษณะรูขุมขน) จะแปรผันตรงกับอุณหภูมิของไพโรไลซิส กลุ่มไฮดรอกซิล, อะลิฟาติก C-H, คาร์บอนิลและโอเลฟินิก C = C ได้สูญเสียไปที่อุณหภูมิสูงในกระบวนการไพโรไลซิส (800 และ 900 °C) พลังงานกระตุ้นถูกประเมินโดยใช้วิธี Vyazovkin และ Ozawa – Flynn – Wall ซึ่งส่งผลให้ค่าพลังงานกระตุ้นที่ 70.44–88.37, 89.16–101.55 และ 107.20–115.29 kJ mol⁻¹ ตามลำดับสำหรับซาร์ที่เตรียมไว้ที่ 500, 800 และ 900 °C

Wei Li และคณะ ^[17] ได้ทำการศึกษาผลกระทบบของอุณหภูมิที่แตกต่างกัน (400, 600, 800 และ 1,000 °C) ต่อลักษณะความพรุนในถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวที่ใช้เวลาแตกต่างกัน (30 , 60, 90 และ 120 นาที) ที่อุณหภูมิกระตุ้น 900 °C ผลการศึกษาพบว่าถ่านกัมมันต์ที่ได้จากถ่านกะลามะพร้าวที่อุณหภูมิสูง มีพื้นที่ผิว ปริมาตรรูพรุนและผลผลิตถ่านกัมมันต์ที่ได้จากกะลามะพร้าวที่อุณหภูมิต่ำ จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า สามารถผลิตถ่านกัมมันต์ที่มีพื้นที่ผิวสูงจากกะลามะพร้าวโดยใช้การกระตุ้นทางกายภาพ (การกระตุ้นด้วยไอน้ำ) โดยการเลือกอุณหภูมิและเวลากระตุ้นที่เหมาะสม

บทที่ 3

เครื่องมือ และวิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษากระบวนการแปรรูปขานอ้อยให้กลายเป็นเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ ด้วยตัวทำละลายน้ำ ที่อุณหภูมิ 300 และ 350 องศาเซลเซียส โดยใช้เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (high - pressure parr reactor) ตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ สัดส่วนของชีวมวล อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาไหม้ ชนิดของสาร ชนิดของสารที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการแปรรูป คือ น้ำมันชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊ส โดยศึกษาผลของตัวแปรต่อปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ ร้อยละการเปลี่ยน ร้อยละผลได้ องค์ประกอบทางเคมี และค่าความร้อนของผลิตภัณฑ์

3.1 สารตั้งต้นและสารเคมี

1. ขานอ้อย หลังบดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 250 ไมโครเมตร
2. ขานอ้อยและกะลามะพร้าว หลังบดผ่านตะแกรงร่อนขนาด 425 ไมโครเมตร
3. แก๊สไนโตรเจน 99.99%
4. น้ำปราศจากไอออน (DI water)
5. อะซีโตน (acetone)

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมขานอ้อย และกะลามะพร้าว

1. เครื่องบดชีวมวลชนิดหยาบ
2. เครื่องบดชีวมวลชนิดละเอียด
3. ตะแกรงร่อนขนาด 425 ไมโครเมตร 250 และ 150 ไมโครเมตร
4. เครื่องเขย่าตะแกรงร่อน

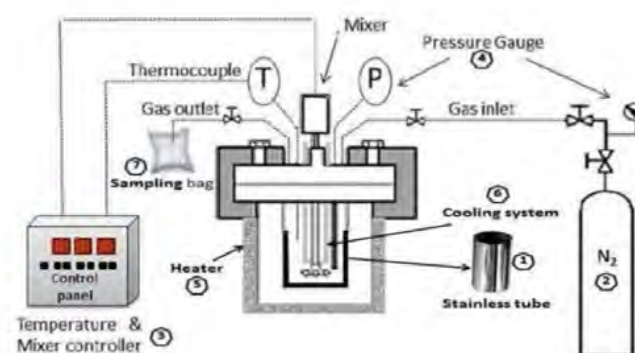
3.2.2 เครื่องปฏิกรณ์

เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (high - pressure parr reactor) ผลิตโดยบริษัท Parr Instrument company ดัง แสดงในรูปที่ 3.1 ที่มีขนาด ปริมาตร 350 มิลลิลิตร ตัวเครื่องทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel no. 316) ประกอบไปด้วยส่วนให้ความร้อน (heater) อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิพร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller) มาตรวัดความดัน (pressure gauge) ระบบหล่อเย็น (cooling system) และอุปกรณ์การกวนซึ่งประกอบด้วยใบกวนพร้อมชุดควบคุม และวัดความเร็วรอบใบกวนโดยตัวเครื่อง และอุปกรณ์ประกอบสามารถทำงานที่อุณหภูมิไม่เกิน 400 องศาเซลเซียสและความดัน สูงสุดไม่เกิน 35 เมกะพาสคัล



รูปที่ 3.1 เครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (high - pressure parr reactor)

3.2.3 แบบจำลองอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.2 แบบจำลองของอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ร่วมกับเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง

3.2.3.1 อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง

1. ถ้วย Stainless ขนาด 350 มิลลิลิตร
2. ถังแก๊สไนโตรเจน ความบริสุทธิ์ร้อยละ 99.99
3. อุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิพร้อมชุดควบคุมอุณหภูมิ (temperature & mixed controller)
4. มาตรวัดความดัน (pressure gauge)
5. ระบบให้ความร้อน (heater)
6. ระบบหล่อเย็น (cooling system)
7. ถุงเก็บแก๊สตัวอย่าง (sampling bag) ขนาด 2 ลิตร

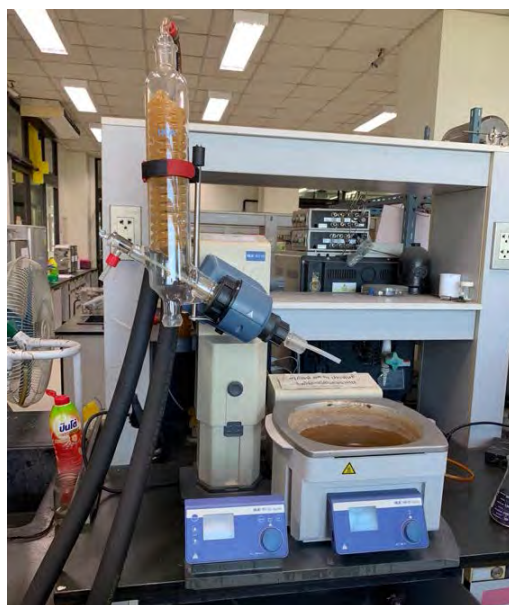
3.2.4 อุปกรณ์การกรอง

อุปกรณ์การกรองประกอบด้วยกรวยบุชเนอร์ (buchner funnel) ขวดกรอง (suction or filter flask) เครื่องดูดอากาศ (aspiration) และกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 3 ขั้นตอนในการกรอง คือ นำส่วนที่ได้จากเครื่องปฏิกรณ์ (ของแข็ง และของเหลว) มาทำการกรองด้วยชุดกรอง ส่วนที่เป็นของแข็ง ที่อยู่ด้านบนทำการชะล้างด้วยตัวทำละลายอะซิโตน เพื่อนำส่วนของน้ำมันออกให้หมด จากนั้นนำส่วนของของแข็งที่ได้จากการกรอง ไปทำการอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และนำไปชั่งน้ำหนัก

3.2.5 อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการระเหยตัวทำละลาย

1. เครื่องระเหยแบบหมุน (rotary evaporator)
2. ขวดเก็บสารตัวอย่าง
3. อะซิโตน

ขั้นตอนในการระเหยมีหลักการคือ การแยกส่วนที่เป็นตัวทำละลายจากน้ำมันดิบชีวภาพ ในผลิตภัณฑ์ของเหลวที่ได้จากการกรองของแข็งออก จากนั้นทำการระเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องระเหยแบบหมุนดังแสดงในรูปที่ 3.3 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และความดัน 250 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 80 นาที



รูปที่ 3.3 เครื่องระเหยแบบหมุน (rotary evaporator)

3.2.6 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟ (gas chromatograph)

การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบและปริมาณของผลิตภัณฑ์แก๊สจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกชันด้วยเครื่องแก๊สโครมาโทกราฟยี่ห้อ Shimadzu รุ่น GC 2014 ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยสภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สในตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.4 เครื่องแก๊สโครมาโทกราฟี (gas chromatography)

ตารางที่ 3.1 สภาวะที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์แก๊สด้วยเครื่องโครมาโทกราฟี (gas chromatography)

แก๊สพา (Carrier gas)	อาร์กอน (Ar)
ชนิดคอลัมน์	Unibeads C packed column
อุณหภูมิการฉีด (Injection temperature)	120 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิคอลัมน์ (Oven column temperature)	50 – 180 องศาเซลเซียส
ระบบตรวจวัด (Detector)	ระบบวัดสภาพการนำความร้อน (TDC)

3.3 การดำเนินงานวิจัย

3.3.1 การออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาตัวแปรต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ โดยตัวแปรที่ทำการศึกษาได้แก่ สัดส่วนของชีวมวล อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซาร์ ชนิดของซาร์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา และการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรที่ทำการศึกษาในกระบวนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ

ตัวแปร

สัดส่วนของชีวมวลต่อซาร์	1:0 และ 1:1
อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซาร์	600 และ 750 องศาเซลเซียส
ชนิดของซาร์	ซานอ้อย และ กะลามะพร้าว
การโหลดแคลเซียมออกไซด์บนซาร์	ใส่ และ ไม่ใส่



รูปที่ 3.7 (ซ้าย) ชานอ้อยชั้น -250 Micron ถึง +150 Micron
(ขวา) ชานอ้อยชั้น -150 Micron

3. ทำการ Calcination ชานอ้อยที่ผ่านการ sieve ในชั้น -425 Micron ถึง +250 Micron เป็นชาร์ชานอ้อย ที่อุณหภูมิเผา 600 และ 750 องศาเซลเซียส ด้วยแก๊สไนโตรเจน ในสภาวะอัดอากาศ



รูปที่ 3.8 (ซ้าย) ชานอ้อยที่จะนำไป Calcination
(ขวา) เครื่อง Calcination



รูปที่ 3.9 (ซ้าย) ชาร์ชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส
(ขวา) ชาร์ชานอ้อย ที่อุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส

3.3.2.2 ชาร์กะลามะพร้าว

- นำกะลาดิบไปบดด้วยเครื่องบดชนิดหยาบ

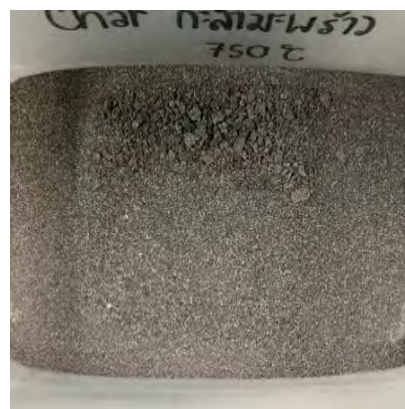


รูปที่ 3.10 (ซ้าย) ชานอ้อยก่อนเข้าเครื่องบด

(ขวา) เครื่องบดหิวมวลชนิดละเอียด

- นำชานอ้อยไปทำการ sieve โดยใช้ตะแกรง sieve 3 ขนาดคือ 425 250 และ 150 Micron เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำชานอ้อยที่ตะแกรง sieve ต่าง ๆ ไปเป็นวัตถุดิบดังนี้

+425 Micron	นำกลับไปบดอีกครั้ง
-425 Micron ถึง +250 Micron	เก็บเป็นวัตถุดิบสำหรับเผาเป็นชาร์กะลามะพร้าว
- ทำการ Calcination กะลามะพร้าวที่ผ่านการ sieve ในชั้น -425 Micron ถึง +250 Micron เป็นชาร์กะลามะพร้าว ที่อุณหภูมิเผา 600 และ 750 องศาเซลเซียส ด้วยแก๊สไนโตรเจน ในสภาวะอับอากาศ



รูปที่ 3.11 (ซ้าย) กะลามะพร้าวก่อนเข้าเครื่องบด

(กลาง) ชาร์กะลามะพร้าว ที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียส

(ขวา) ชาร์กะลามะพร้าว ที่อุณหภูมิเผา 750 องศาเซลเซียส

3.3.2.3 ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บนชาร์ชานอ้อย (CaO/Bagasse char)

1. เตรียมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก
2. ผสมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์กับชาร์ชานอ้อยที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ด้วยวิธี Wetness Impregnation
3. จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. ทำการ Calcination ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ด้วยแก๊สไนโตรเจน ในสภาวะอัดอากาศ
5. เปลี่ยนตัวรองรับเป็นชาร์ชานอ้อยที่เผาด้วยอุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส จากนั้นทำตามข้อ 2-4

3.3.2.4 ตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บนชาร์กะลามะพร้าว (CaO/Coconut char)

1. เตรียมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก
2. ผสมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์กับชาร์กะลามะพร้าวที่เผาด้วยอุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ด้วยวิธี Wetness Impregnation
3. จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
4. ทำการ Calcination ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ด้วยแก๊สไนโตรเจน ในสภาวะอัดอากาศ
5. เปลี่ยนตัวรองรับเป็นชาร์ชานอ้อยที่เผาด้วยอุณหภูมิ 750 องศาเซลเซียส จากนั้นทำตามข้อ 2-4

3.3.3 การวิเคราะห์สมบัติของชานอ้อย

องค์ประกอบของชีวมวลโดยประมาณ (proximate analysis) ได้แก่ ความชื้น เถ้าสารระเหย และคาร์บอนคงตัว ตาม ASTM D3173-3175

3.3.4 การศึกษาผลของสัดส่วนของชีวมวลและชาร์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ

ทำการทดลองโดยใช้สัดส่วนของชีวมวลและชาร์ชานอ้อยหรือชาร์กะลามะพร้าว ที่สัดส่วน 1:0 และ 1:1 โดยมวลรวมเท่ากับ 10 กรัม ที่อุณหภูมิที่กำหนด และความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 20 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำที่ปราศจากไอออน

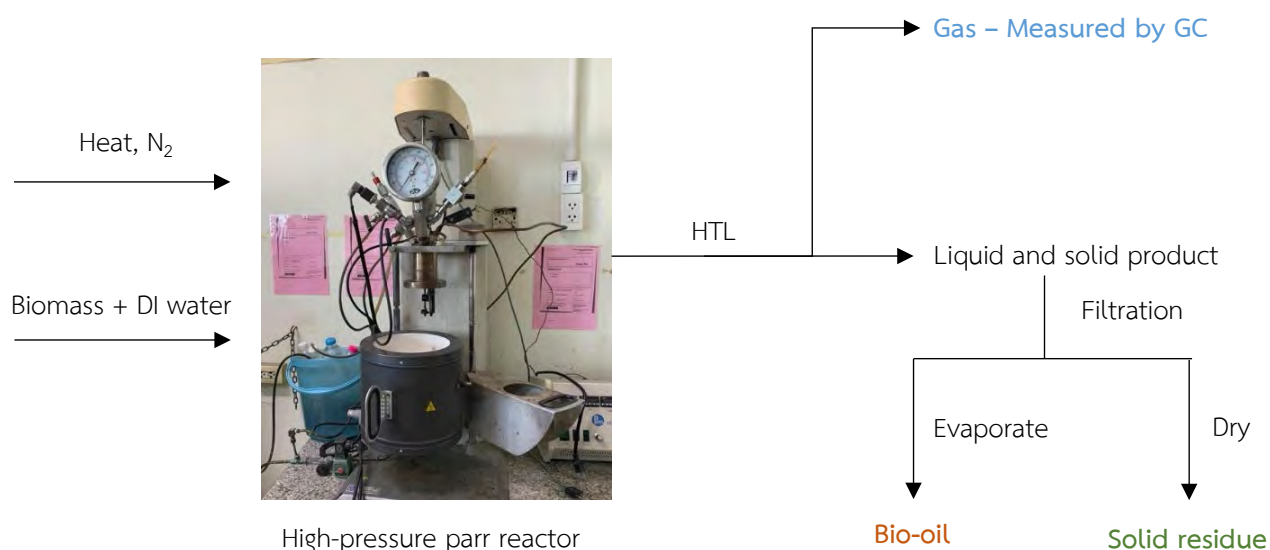
3.3.5 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชาร์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ

ทำการทดลองโดยใช้สัดส่วนของชีวมวลและชาร์ชานอ้อยหรือชาร์กะลามะพร้าว ที่สัดส่วน 1:1 โดยเปรียบเทียบผลการทดลองจากการผสมชาร์ที่เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และ 750 องศาเซลเซียส ที่อุณหภูมิที่กำหนด และความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 20 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำที่ปราศจากไอออน

3.3.6 การศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยา CaO/Char ต่อการผลิตเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ

ทำการทดลองโดยใช้สัดส่วนของชีวมวลและตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บนชาร์ซ่านอ้อยหรือชาร์กะลามะพร้าว ที่สัดส่วน 1:0 และ 1:1 โดยมวลรวมเท่ากับ 10 กรัม ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส และความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 20 บาร์ เป็นเวลา 60 นาที โดยใช้ตัวทำละลายเป็นน้ำที่ปราศจากไอออน

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการแปรรูปชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว

3.4.1 กระบวนการแปรรูปชานอ้อยให้เป็นเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ

1. ชั่งชานอ้อย 10 กรัม ลงในเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง (high-pressure parr reactor) เติมน้ำที่ปราศจากไอออน (DI water) 100 มิลลิลิตร
2. ประกอบเครื่องปฏิกรณ์กับเครื่องให้ความร้อน ไล่อากาศภายในเครื่องด้วยแก๊สไนโตรเจนอัดแก๊สที่ความดันเริ่มต้น 20 บาร์
3. ประกอบเครื่องปฏิกรณ์กับเครื่องให้ความร้อน ตั้งค่าอุณหภูมิที่ 300 องศาเซลเซียส ความเร็วรอบของใบกวน 300 รอบต่อนาที และเมื่ออุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ถึงค่าที่ตั้งไว้ จับเวลา 60 นาที
4. เมื่อครบระยะเวลาในการทำปฏิกิริยา ลดอุณหภูมิภายในเครื่องปฏิกรณ์ โดยตั้งค่าอุณหภูมิที่ 35 องศาเซลเซียส
5. เก็บผลิตภัณฑ์ของเหลวและของแข็งใส่ในบีกเกอร์ ชะล้างผลิตภัณฑ์ที่เหลืออยู่ในเครื่องปฏิกรณ์ด้วยอะซิโตน
6. กรองผลิตภัณฑ์ของเหลวออกจากของแข็งด้วยอุปกรณ์การกรองสุญญากาศ และล้างของแข็งด้วยอะซิโตน
7. นำสารละลายของเหลวที่กรองได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ไประเหยเพื่อแยกตัวทำละลายออกจากผลิตภัณฑ์ของเหลวด้วยเครื่องระเหยแบบหมุน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ความดัน 250 มิลลิบาร์ เป็นเวลา 80 นาที

8. นำผลิตภัณฑ์ของเหลวที่เหลือจากการระเหยไปชั่งน้ำหนัก
9. นำของแข็งที่กรองได้ไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
10. เปลี่ยนชีวมวลเป็นขานอ้อยผสมกับชาร์แต่ละชนิด ในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นทำตามข้อ 1-9
11. เปลี่ยนชีวมวลเป็นขานอ้อยผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บนชาร์แต่ละชนิด ในอัตราส่วน 1:1 จากนั้นทำตามข้อ 1-9

3.4.2 การคำนวณผลลัพธ์จากการทดลอง

1. ค่าร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ (%Bio-oil yield, BO) = $\frac{100 \times W_{liq}}{W_{daf}}$
2. ค่าร้อยละผลได้ของกากของแข็ง (%Solid residue, SR) = $\frac{100 \times W_{ash}}{W_{daf}}$
3. ค่าร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แก๊ส (%Gaseous yield) = $\frac{100 \times W_{gas}}{W_{daf}}$

W_{daf} คือ น้ำหนักของชีวมวลที่ปราศจากความชื้นและขี้เถ้า (กรัม)

W_{ash} คือ น้ำหนักของกากที่ปราศจากความชื้น (กรัม)

W_{liq} คือ น้ำหนักของของเหลว (กรัม)

W_{gas} คือ น้ำหนักของแก๊ส (กรัม)

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ศึกษาผลของตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ต่อการผลิตเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิควิแพกซ์ของชานอ้อยด้วยเครื่องปฏิกรณ์แรงดันสูง โดยตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ชนิดของชาร์ (ชาร์ชานอ้อยและชาร์กะลามะพร้าว) อุณหภูมิที่ใช้เผาชาร์ (600 และ 750 องศาเซลเซียส) และการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ จากนั้นคำนวณหาร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์

4.1 การวิเคราะห์สมบัติของชีวมวล

4.1.1 การวิเคราะห์แบบประมาณของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย และชาร์กะลามะพร้าว

การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาองค์ประกอบโดยประมาณของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อยที่อุณหภูมิเผา 600 และ 750 องศาเซลเซียส และชาร์กะลามะพร้าวที่อุณหภูมิเผา 600 และ 750 องศาเซลเซียส ซึ่งในการวิเคราะห์จะอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM D 3173-3175 ได้แก่ ความชื้น เถ้า สารระเหย และคาร์บอนคงตัว ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์แบบประมาณของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย และชาร์กะลามะพร้าว

การวิเคราะห์	ชานอ้อย (Bagasse)	ชาร์ชานอ้อย (Bagasse char)		ชาร์กะลามะพร้าว (Coconut char)	
		600°C	750°C	600°C	750°C
การวิเคราะห์แบบประมาณ ^a (ร้อยละโดยน้ำหนัก)					
ความชื้น (Moisture)	7.08	5.27	7.26	5.39	7.63
เถ้า (Ash)	10.04	38.83	45.65	45.04	43.18
สารระเหย (Volatile matter)	70.08	15.80	15.27	12.82	10.75
คาร์บอนคงตัว ^b (Fixed carbon)	12.10	40.10	31.82	36.76	38.43

a = ร้อยละโดยน้ำหนักที่ได้จากการวิเคราะห์โดยตรง

b = 100 - ความชื้น - เถ้า - สารระเหย

4.1.2 การวิเคราะห์แบบประมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์

การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) เพื่อหาองค์ประกอบโดยประมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บนชาร์ชานอ้อยที่อุณหภูมิเผา 600 และ 750 องศาเซลเซียส และตัวเร่ง

ปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บนชาร์กะลามะพร้าวที่อุณหภูมิเผา 600 และ 750 องศาเซลเซียส ใช้การประมาณค่าจากผลการวิเคราะห์ในหัวข้อที่ 4.1.1 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์แบบประมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บนชาร์ชานอ้อย และตัวเร่งปฏิกิริยาแคลเซียมออกไซด์บนชาร์กะลามะพร้าว

การวิเคราะห์	CaO/Bagasse char		CaO/Coconut char	
	600°C	750°C	600°C	750°C
การวิเคราะห์แบบประมาณ ^c (ร้อยละโดยน้ำหนัก)				
ความชื้น (Moisture)	6.59	9.07	6.73	9.54
เถ้า (Ash)	48.54	57.06	56.30	53.93
สารระเหย (Volatile matter)	19.75	19.08	16.02	13.44
คาร์บอนคงตัว ^d (Fixed carbon)	25.12	14.78	20.94	23.04

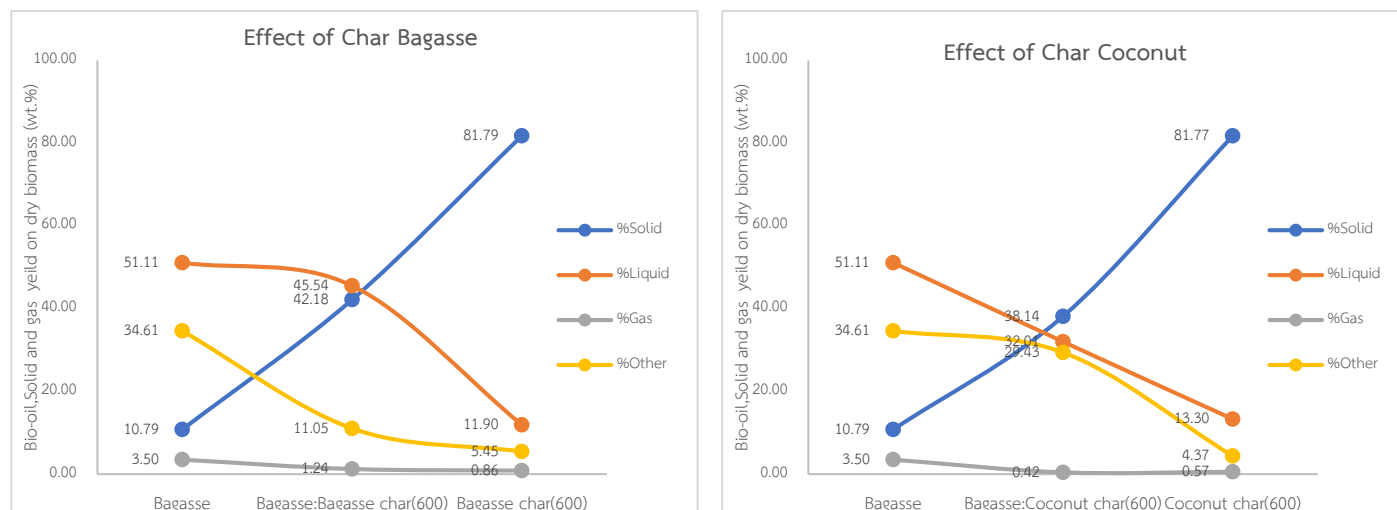
c = ร้อยละโดยน้ำหนักที่ได้จากการประมาณ

d = 100 - ความชื้น - เถ้า - สารระเหย

4.2 ผลของปัจจัยต่าง ๆ ต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันในตัวทำละลายเดี่ยวในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของชานอ้อยในตัวทำละลายน้ำในอัตราส่วนระหว่างชีวมวลต่อตัวทำละลายเท่ากับ 1:10 (กรัมต่อมิลลิลิตร) สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 20 บาร์ ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา คือ 60 นาที ในเครื่องปฏิกรณ์ Parr reactor เมื่ออัดแก๊สไนโตรเจนเข้าไปในเครื่องปฏิกรณ์ที่อุณหภูมิสูง จะเกิดปฏิกิริยาการแตกตัว (Hydro-cracking reaction) ของพันธะภายในของพอลิเมอร์ในชีวมวลขึ้น ได้แก่ เซลลูโลส (Cellulose), เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose) และลิกนิน (Lignin) เกิดเป็นสาร Intermediates ที่ประกอบด้วยวงอะโรมาติกที่มีอนุมูลอิสระ (Aromatic free radicals) นอกจากนี้สาร Intermediates และเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ ยังสามารถเกิดการควบแน่น (Condensation), การรวมวง (Cyclization) และการรวมตัวของพอลิเมอร์อีกครั้ง (Re-polymerization)

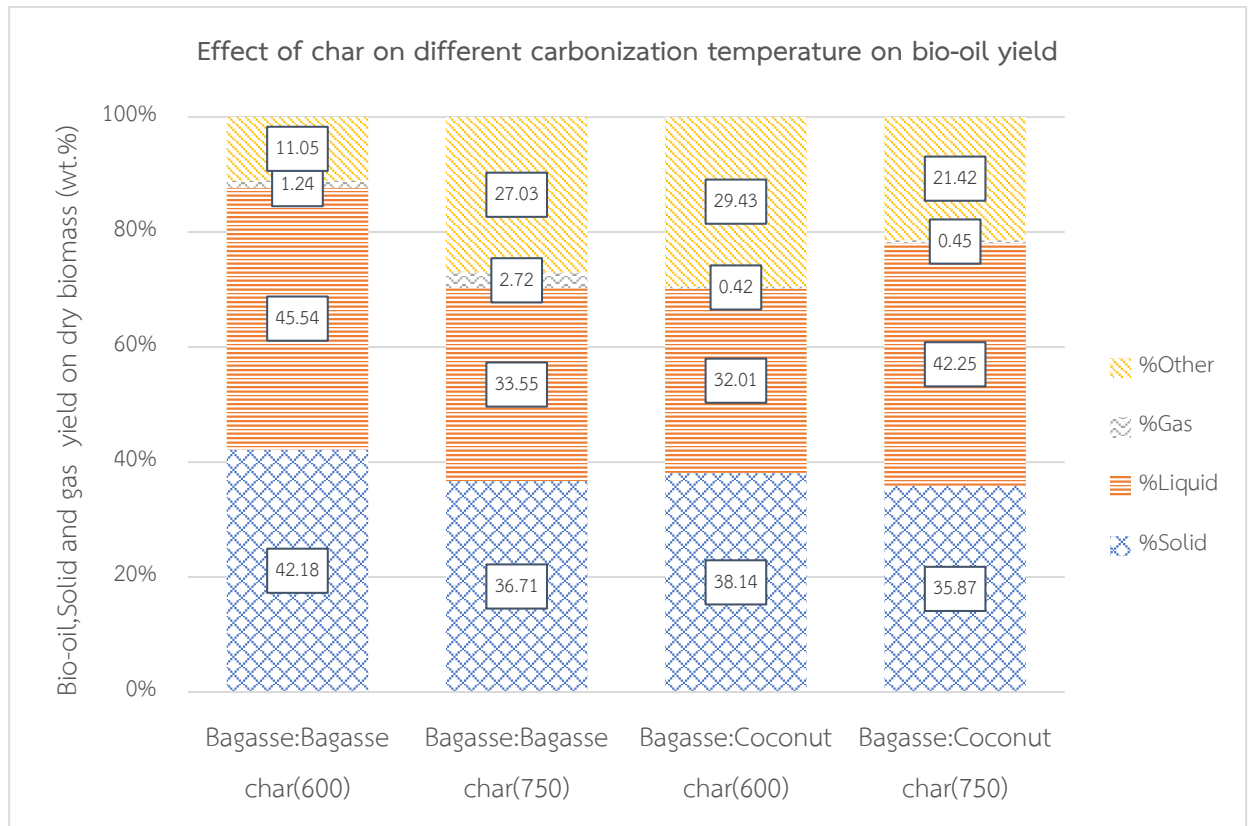
4.2.1 ผลของชนิดขั้วต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ



รูปที่ 4.1 (ซ้าย) ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สจากไฮโดเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชันของขานอ้อยผสม ขาร์ขานอ้อยที่เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส
(ขวา) ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สจากไฮโดเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชันของขานอ้อยผสมขาร์ กะลามะพร้าวที่เผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.1 (ซ้าย) แสดงปริมาณผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของ ขานอ้อย ขานอ้อยที่ผสมกับขาร์ขานอ้อยด้วยอัตราส่วน 1:1 และขาร์ขานอ้อย จากไฮโดเทอร์มัลลิควิแพกซ์ชัน ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในตัวทำละลายน้ำที่ปราศจากไอออน (DI water) พบว่าผลได้ของเชื้อเพลิง เหลวชีวภาพมีค่าร้อยละ 51.11 โดยน้ำหนัก เมื่อผสมขาร์ขานอ้อยในอัตราส่วน 1:1 พบว่าผลได้ของเชื้อเพลิง เหลวชีวภาพมีค่าร้อยละ 45.54 โดยน้ำหนัก และเมื่อใช้ขาร์ขานอ้อยอย่างเดียวพบว่าผลได้ของเชื้อเพลิงเหลว ชีวภาพมีค่าร้อยละ 11.90 โดยน้ำหนัก จะเห็นว่าผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากขานอ้อยที่ผสมกับขาร์ ขานอ้อยจะมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับผลได้ของขานอ้อยที่ผสมกับขาร์กะลามะพร้าว ซึ่งมีค่าเท่ากับร้อยละ 32.01 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในรูปที่ 4.1 (ขวา) เนื่องจากขาร์ขานอ้อยที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียส จะมี พื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนสูงกว่าขาร์กะลามะพร้าวที่อุณหภูมิเผาเดียวกัน ทำให้เกิดปฏิกิริยาบนพื้นผิวของ ขาร์ขานอ้อยได้ดีกว่าบนพื้นผิวของขาร์กะลาที่ปริมาณเท่ากัน เป็นผลให้เชื้อเพลิงเหลวชีวภาพที่ได้จากขานอ้อย ผสมขาร์ขานอ้อยมีปริมาณสูงกว่าเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพที่ได้จากขานอ้อยผสมขาร์กะลามะพร้าว [16],[17]

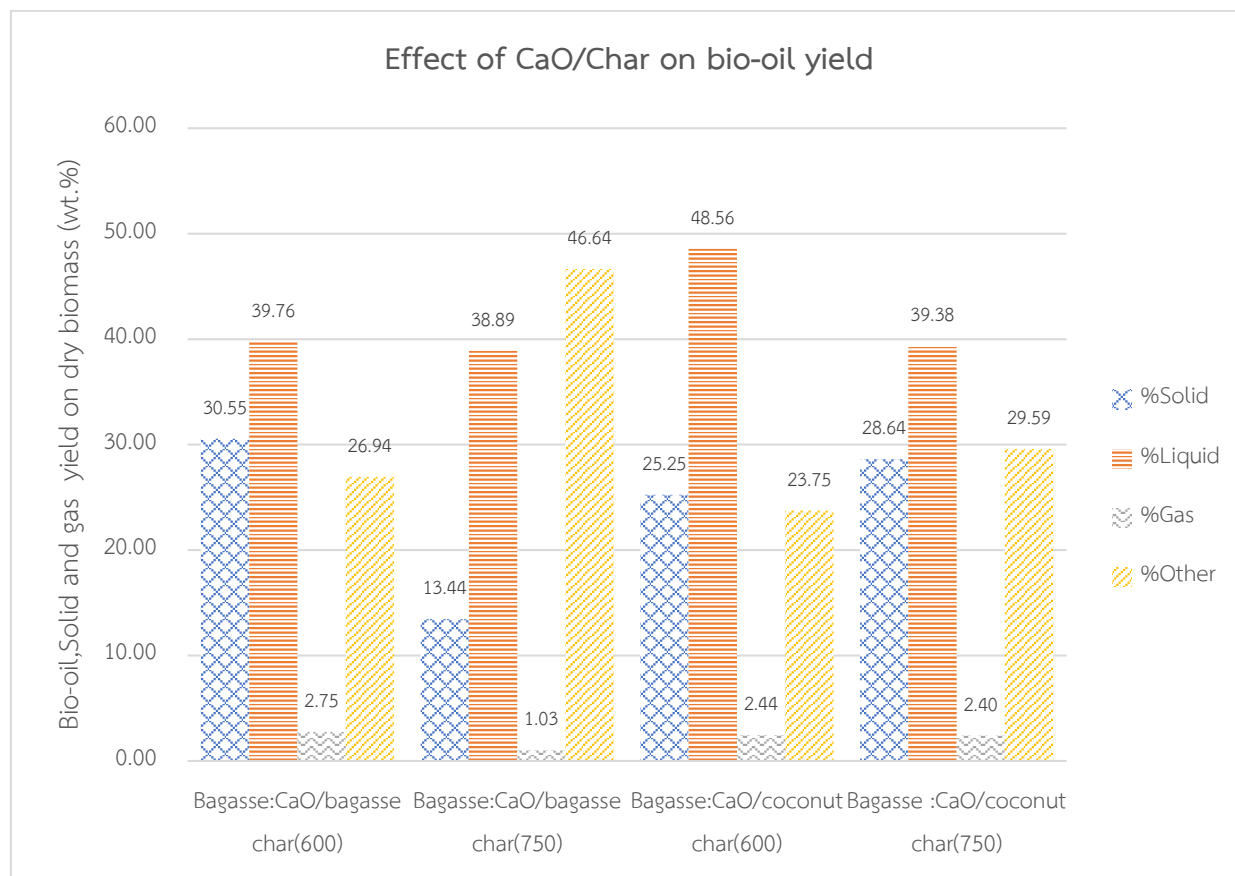
4.2.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซาร์ (Carbonization temperature) ต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ



รูปที่ 4.2 ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สจากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมซาร์ชานอ้อยและซาร์กะลามะพร้าวที่เผาที่อุณหภูมิ 600 และ 750 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.2 แสดงปริมาณผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของชานอ้อยผสมกับซาร์ด้วยอัตราส่วน 1:1 จากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในตัวทำละลายน้ำที่ปราศจากไอออน (DI water) พบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการเผาเป็น 750 องศาเซลเซียส ผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากชานอ้อยผสมกับซาร์ชานอ้อยมีค่าลดลงซึ่งมีปริมาณร้อยละ 33.55 โดยน้ำหนัก ในทางกลับกันผลได้ของเชื้อเพลิงชีวภาพจากชานอ้อยผสมซาร์กะลามะพร้าวที่อุณหภูมิเผาตั้งกล่าวมีค่าสูงสุดคือร้อยละ 42.25 โดยน้ำหนัก ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิที่เผาซาร์ชานอ้อยส่งผลให้ปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพลดลง ขณะที่การเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซาร์กะลามะพร้าว จะทำได้ผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซาร์ทั้งสองชนิด พื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนของซาร์จะเพิ่มขึ้น แต่พบว่าที่อุณหภูมิเผา 750 องศาเซลเซียส ซาร์กะลามะพร้าวจะมีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญจากที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียส และมีค่าสูงกว่าพื้นที่ผิวและปริมาตรของรูพรุนของซาร์ชานอ้อยอย่างมาก จึงเป็นผลให้พื้นที่ในการเกิดปฏิกิริยาบนซาร์กะลามากขึ้น [16],[17]

4.2.3 ผลของตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ



รูปที่ 4.3 ร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สจากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันของชานอ้อยผสมตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์

จากรูปที่ 4.3 แสดงปริมาณผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ กากของแข็ง และแก๊สของชานอ้อยผสมกับตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ความเข้มข้นร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก ด้วยอัตราส่วน 1:1 จากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแฟกชันที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส ในตัวทำละลายน้ำที่ปราศจากไอออน (DI water) พบว่าในการผสมชานอ้อยและชาร์ชนิดต่างๆ ในชาร์กะลามะพร้าวเมื่ออุณหภูมิเผาเท่ากับ 600 องศาเซลเซียส ผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจะมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิเผา 750 องศาเซลเซียส และปริมาณเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพสูงสุดร้อยละ 48.56 โดยน้ำหนัก ซึ่งสูงกว่าผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากชานอ้อยผสมชาร์กะลามะพร้าวอุณหภูมิเผา 750 องศาเซลเซียส มีค่าร้อยละ 39.38 โดยน้ำหนัก เนื่องจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของรูพรุนของชาร์กะลาที่อุณหภูมิสูงจะลดลง ทำให้เมื่อไหลแคลเซียมออกไซด์บนชาร์ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ขนาดรูพรุนไม่เหมาะสมกับทำปฏิกิริยาภายในรูพรุน เป็นผลให้ปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพที่ได้ลดลง^[17] และเมื่อเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเผาเดียวกันพบว่าที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียสผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากชานอ้อยผสมชาร์กะลามะพร้าวมีค่าสูงกว่าผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าว ชาร์กะลามะพร้าวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสูงกว่าชาร์ชานอ้อย และที่อุณหภูมิเผา 750 องศาเซลเซียสพบว่าขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชาร์

ชานอ้อยสูงกว่าชาร์กะลามะพร้าวเล็กน้อย แต่พื้นที่ผิวของชาร์กะลามะพร้าวสูงกว่าชาร์ชานอ้อยอย่างมีนัยสำคัญ จึงเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลให้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากชานอ้อยผสมชาร์กะลามะพร้าวมีค่าสูงกว่าผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากชานอ้อยผสมชาร์ชานอ้อย ^[16]

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของชนิดของซาร์ อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาซาร์ และการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ ต่อร้อยละผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มอลลิควิแพกซ์ของชานอ้อย ในตัวทำละลายน้ำปราศจากไอออน (DI water) โดยอัตราส่วนของชานอ้อยต่อตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนคือ 1:1 และอัตราส่วนของชานอ้อยต่อตัวทำละลายน้ำคือ 1:10 (กรัมต่อมิลลิลิตร) ที่อุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 20 บาร์ ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาที่ใช้ในการดำเนินปฏิกิริยา 60 นาที ในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 ผลของชนิดซาร์

จากการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI water) เป็นตัวทำละลาย พบว่าที่อุณหภูมิที่ใช้เผาซาร์เดียวกัน ชานอ้อยผสมซาร์ชานอ้อยในอัตราส่วน 1:1 ให้ผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพสูงสุด

5.1.2 ผลของอุณหภูมิที่ใช้เผาซาร์

จากการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI water) เป็นตัวทำละลาย พบว่าชานอ้อยผสมซาร์กะลามะพร้าวที่อุณหภูมิเผา 750 องศาเซลเซียสในอัตราส่วน 1:1 มีปริมาณเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพสูงสุด รองลงมาคือชานอ้อยผสมซาร์ชานอ้อยที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียสในอัตราส่วน 1:1

5.1.3 ผลของการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์

จากการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์ที่อุณหภูมิ 300 องศาเซลเซียส โดยใช้น้ำปราศจากไอออน (DI water) เป็นตัวทำละลาย พบว่าที่อุณหภูมิที่ใช้เผาซาร์เดียวกัน ชานอ้อยผสมแคลเซียมออกไซด์บนซาร์กะลามะพร้าว จะให้ผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพสูงกว่าชานอ้อยผสมแคลเซียมออกไซด์บนซาร์ชานอ้อย และการใส่แคลเซียมออกไซด์บนซาร์ชนิดเดียวกันที่อุณหภูมิเผาต่างกัน พบว่าเมื่ออุณหภูมิเผาสูงขึ้น ผลได้ของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพจะลดลง ดังนั้นผลได้สูงสุดของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพได้จากชานอ้อยผสมแคลเซียมออกไซด์บนซาร์กะลามะพร้าวที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียสในอัตราส่วน 1:1

5.2 ข้อเสนอแนะ

- ในแต่ละการทดลอง ควรมีการทดลองซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง เพื่อความแม่นยำ
- ควรทำการวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) ของตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ แทนการประมาณค่าจากผลการวิเคราะห์ของซาร์ชานอ้อยและซาร์กะลามะพร้าว
- ควรทำการวิเคราะห์แบบแยกธาตุและหาองค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย และซาร์ชนิดต่าง ๆ

- ควรทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของเชื้อเพลิงเหลวชีวภาพ เพื่อตรวจสอบว่าเชื้อเพลิงเหลวที่ได้นั้นมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับเชื้อเพลิงที่ใช้จริงหรือไม่

เอกสารอ้างอิง

- [1] Yokoyama, S. คู่มือสารชีวมวลเอเชีย แนวทางสำหรับการผลิตและการใช้สารชีวมวล 2008
- [2] รศ.ดร.บุษบา พุกกาพันธ์รัตน์ และดร. บุญรอด สัจจกุลนุกิจ. โครงการแนวทางการส่งเสริมมาตรฐานเชื้อเพลิงชีวมวลแปรรูปในภาคอุตสาหกรรม Study of Biomass Transformation for Industrial Sector. 2555.
- [3] ศักยภาพของชีวมวล. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://digi.library.tu.ac.th/thesis/en/0419/03chapter2.pdf> (วันที่ค้นข้อมูล 3 เมษายน 2563)
- [4] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, ศักยภาพชีวมวลในประเทศไทย. [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก http://www4.dede.go.th/dede/index.php?option=com_content&view=article&id=130%3A2010-05-07-08-10-57&catid=58&Itemid=68&lang=th (วันที่ค้นข้อมูล 3 เมษายน 2563)
- [5] Tekin, K., Karagoz, s., and Bektas, S. A review of hydrothermal biomass processing. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 40 (2014). 673-687.
- [6] Parikh, J., S.A., Channiwala S.A., and Ghosal, G.K. A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. Fuel, 84 (2005) 487-494.
- [7] วรัญญา จิตสนธิ. การผลิตน้ำมันดิบชีวภาพจากไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันของใบอ้อยที่ผ่านการขจัดแร่ธาตุ (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิตศึกษาคณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2559)
- [8] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. คู่มือการพัฒนาและการลงทุนผลิตพลังงานทดแทน ชุดที่ 4, 2554
- [9] สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนเล่มที่ 4, เรื่องที่ 3 อ้อย [ออนไลน์]. เข้าถึงได้จาก <http://saranukromthai.or.th/sub/book/book.php?book=5&chap=3&page=t5-3-infodetail05.html> (วันที่ค้นข้อมูล 3 เมษายน 2563)
- [10] Ramirez A., Brown J. and Rainey J. A Review of Hydrothermal Liquefaction BioCrude Properties and Prospects for Upgrading to Transportation Fuels. Energies, 8 (2015) 6765-6794

- [11] Yamin H., Shuang W., Jiancheng L., Qian W., Zhixia H., Yongqiang F., El-Fatah A., Stephen Afonaa-M. and Chiwai H., Co-pyrolysis and co-hydrothermal liquefaction of seaweeds and rice husk: Comparative study towards enhanced biofuel production. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* (2018) :162-172
- [12] Yong-Jie D., Chun-Xiang Z. and Zeng-Chen L. Catalytic hydrothermal liquefaction of rice straw for production of monomers phenol over metal supported mesoporous catalyst. *Bioresource Technology*. 2019; 294: 122097.
- [13] Zheting B., Ji Z., Emily P., Zeying Z., Chunjie X., Yanna L. and Tomasz W.. Biocrude from pretreated sorghum bagasse through catalytic hydrothermal liquefaction. *Fuel* 2017 ; 188 : 112-120.
- [14] Omid N., Sajedeh J., Farid S., Ahmad T. and Behnam N. Promotion of hydrogen-rich gas and phenolic-rich bio-oil production from green macroalgae *Cladophora glomerata* via pyrolysis over its bio-char. *Bioresource Technology* 2016 ; 219 : 643-651.
- [15] Lujiang X., Qing-qing Z., Qian D., Le-yao Z. and Zhen F. Co-production of phenolic oil and CaO/char deoxidation catalyst via catalytic fast pyrolysis of phenol formaldehyde resin with Ca(OH)_2 . *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 2019 ; 142 : 104663.
- [16] Elbager M.A. E., Guangqian L. and Hong Y. Investigations of the structure and thermal kinetic analysis of sugarcane bagasse char during non-isothermal CO_2 gasification. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2014; 107: 107-115
- [17] Wei L., Kunbin Y., Jinhui P., Libo Z., Shenghui G. and Hongying X. Effects of carbonization temperatures on characteristics of porosity in coconut shell chars and activated carbons derived from carbonized coconut shell chars. *Industrial Crops and Products*. 2008; 28: 190-198

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

วิธีวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของซีเมนต์

1. การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) ของชานอ้อย ชาร์ชานอ้อย และชาร์

กะลามะพร้าว

1.1 ความชื้น (Moisture) ASTM D3173

วิธีการทดลอง

1. อบถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาในเตาอบ (Drying oven) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำเข้าเตสลิเคเตอร์ (Desicator) ที่งัไว้ประมาณ 15 นาที นำไปชั่งน้ำหนักพร้อมฝาด
2. ชั่งสารตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ลงในถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่ทราบน้ำหนักแล้วบันทึกน้ำหนักสารตัวอย่าง
3. นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 1 ชั่วโมง
4. นำถ้วยกระเบื้องออกจากเตาอบพร้อมปิดฝาด และทิ้งให้เย็นตัวในเตสลิเคเตอร์ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักพร้อมฝาดแล้วบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$M = \frac{100 (W_1 - W_2)}{W}$$

โดย	M	คือ ร้อยละของความชื้น
	W_1	คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝารวมกับน้ำหนักของสารตัวอย่างก่อนอบ(กรัม)
	W_2	คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝารวมกับน้ำหนักของสารตัวอย่างหลังอบ (กรัม)
	W	คือ น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)

1.2 เถ้า (Ash) ASTM D3174

วิธีการทดลอง

1. อบถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาในเตาอบ (Drying oven) ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำเข้าเตสลิเคเตอร์ (Desicator) ที่งัไว้ประมาณ 15 นาที นำไปชั่งน้ำหนักพร้อมฝาด
2. ชั่งสารตัวอย่างประมาณ 1 กรัม ลงในถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาที่ทราบน้ำหนักแล้วบันทึกน้ำหนักสารตัวอย่าง
3. ใส่ถ้วยกระเบื้องพร้อมฝาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
4. นำถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผา และทิ้งให้เย็นตัวในเตสลิเคเตอร์ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักพร้อมฝาดแล้วบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$A = \frac{100 (W_3 - W_4)}{W}$$

โดย	A	คือ ร้อยละของเถ้า
-----	---	-------------------

- W_3 คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา รวมกับน้ำหนักของสารตัวอย่างก่อนเผา(กรัม)
 W_4 คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา รวมกับน้ำหนักของสารตัวอย่างหลังเผา(กรัม)
 W คือ น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)

1.3 สารระเหย (Volatile matter) ASTM D3175

วิธีการทดลอง

1. นำสารตัวอย่างที่ผ่านการอบเพื่อขจัดความชื้น และเก็บอยู่ในเดสิเคเตอร์ (Desicator) ไปชั่งน้ำหนักพร้อมฝา แล้วบันทึกผล
2. จากนั้นนำไปให้ความร้อนในเตาเผา (tubular furnace) ที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 10 นาที
3. นำถ้วยกระเบื้องออกจากเตาเผา และทิ้งให้เย็นตัวในเดสิเคเตอร์ จึงนำไปชั่งน้ำหนักพร้อมฝาแล้วบันทึกผล

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V = \frac{100 (W_5 - W_6)}{W}$$

- โดย V คือ ร้อยละของสารระเหย
 W_5 คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา รวมกับน้ำหนักของสารตัวอย่างก่อนเผา(กรัม)
 W_6 คือ น้ำหนักของถ้วยกระเบื้องพร้อมฝา รวมกับน้ำหนักของสารตัวอย่างหลังเผา(กรัม)
 W คือ น้ำหนักของสารตัวอย่าง (กรัม)

1.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (fixed carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{fixed carbon} = 100 - M - A - V$$

- โดย M คือ ร้อยละของความชื้น
 A คือ ร้อยละของเถ้า
 V คือ ร้อยละของสารระเหย

2. การวิเคราะห์แบบประมาณ (Proximate analysis) ของตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์

2.1 ความชื้น (Moisture)

เนื่องจากไม่ได้ทำการทดสอบตาม ASTM D3173 ร้อยละความชื้นของตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ที่มีสัดส่วนของแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และมีสัดส่วนของซาร์ร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก จึงประมาณจากร้อยละความชื้นของซาร์ที่ได้ทำการวิเคราะห์ไปก่อนหน้านี้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$M_2 = \frac{M_1 \times 100}{80}$$

โดย	M_1	คือ ร้อยละของความชื้นของซาร์ที่ปราศจากแคลเซียมออกไซด์
	M_2	คือ ร้อยละของความชื้นของซาร์ที่รองรับแคลเซียมออกไซด์
	80	คือ อัตราส่วนของซาร์ในตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ 100 ส่วน

ตัวอย่างการคำนวณ

การหาร้อยละความชื้นของแคลเซียมออกไซด์บนซาร์ชานอ้อยที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียส (CaO/Bagasse char(600))

การคำนวณ

เมื่อ ร้อยละความชื้นของซาร์ชานอ้อยที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียส (M_1) = 5.27 แทนค่าในสูตร จะได้ว่า

$$M_2 = \frac{5.27 \times 100}{80} = 6.59$$

ดังนั้น ร้อยละความชื้นของแคลเซียมออกไซด์บนซาร์ชานอ้อยที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียส (CaO/Bagasse char(600)) มีค่าเท่ากับร้อยละ 6.59 โดยน้ำหนัก

2.2 เถ้า (Ash)

เนื่องจากไม่ได้ทำการทดสอบตาม ASTM D3174 ร้อยละของเถ้าของตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ที่มีสัดส่วนของแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และมีสัดส่วนของซาร์ร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก จึงประมาณจากร้อยละของเถ้าของซาร์ที่ได้ทำการวิเคราะห์ไปก่อนหน้านี้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$A_2 = \frac{A_1 \times 100}{80}$$

โดย	A_1	คือ ร้อยละของเถ้าของซาร์ที่ปราศจากแคลเซียมออกไซด์
	A_2	คือ ร้อยละของเถ้าของซาร์ที่รองรับแคลเซียมออกไซด์
	80	คือ อัตราส่วนของซาร์ในตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ 100 ส่วน

ตัวอย่างการคำนวณ

การหาร้อยละของเถ้าของแคลเซียมออกไซด์บนชาร์ซ่านอ้อยที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียส
(CaO/Bagasse char(600))

การคำนวณ

เมื่อ ร้อยละของเถ้าของชาร์ซ่านอ้อยที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียส (A_1) = 38.83
แทนค่าในสูตร จะได้ว่า

$$A_2 = \frac{38.83 \times 100}{80} = 48.54$$

ดังนั้น ร้อยละของเถ้าของแคลเซียมออกไซด์บนชาร์ซ่านอ้อยที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียส
(CaO/Bagasse char(600)) มีค่าเท่ากับร้อยละ 48.54 โดยน้ำหนัก

2.3 สารระเหย (Volatile matter)

เนื่องจากไม่ได้ทำการทดสอบตาม ASTM D3175 ร้อยละของสารระเหยของตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ที่มีสัดส่วนของแคลเซียมออกไซด์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก และมีสัดส่วนของชาร์ร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก จึงประมาณจากร้อยละของสารระเหยของชาร์ที่ได้ทำการวิเคราะห์ไปก่อนหน้านี้

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$V_2 = \frac{V_1 \times 100}{80}$$

โดย V_1 คือ ร้อยละของสารระเหยของชาร์ที่ปราศจากแคลเซียมออกไซด์
 V_2 คือ ร้อยละของสารระเหยของชาร์ที่รองรับแคลเซียมออกไซด์
80 คือ อัตราส่วนของชาร์ในตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์ 100 ส่วน

ตัวอย่างการคำนวณ

การหาร้อยละของสารระเหยของแคลเซียมออกไซด์บนชาร์ซ่านอ้อยที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียส
(CaO/Bagasse char(600))

การคำนวณ

เมื่อ ร้อยละของสารระเหยของชาร์ซ่านอ้อยที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียส (V_1) = 15.80
แทนค่าในสูตร จะได้ว่า

$$V_2 = \frac{15.80 \times 100}{80} = 19.75$$

ดังนั้น ร้อยละของสารระเหยของแคลเซียมออกไซด์บนชาร์ซ่านอ้อยที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียส
(CaO/Bagasse char(600)) มีค่าเท่ากับร้อยละ 19.75 โดยน้ำหนัก

2.4 ปริมาณคาร์บอนคงตัว (fixed carbon)

สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$\text{fixed carbon} = 100 - M_2 - A_2 - V_2$$

โดย	M_2	คือ ร้อยละของความชื้นของตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์
	A_2	คือ ร้อยละของเถ้าของตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์
	V_2	คือ ร้อยละของสารระเหยของตัวเร่งปฏิกิริยาฐานคาร์บอนร่วมกับแคลเซียมออกไซด์

ตัวอย่างการคำนวณ

การหาปริมาณคาร์บอนคงตัวของแคลเซียมออกไซด์บนชาร์ซ่านอ้อยที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียส (CaO/Bagasse char(600))

การคำนวณ

เมื่อ	M_2	=	6.59
	A_2	=	48.54
	V_2	=	19.75

แทนค่าในสูตร จะได้ว่า

$$\text{fixed carbon} = 100 - 6.59 - 48.54 - 19.75 = 25.12$$

ดังนั้น ปริมาณคาร์บอนคงตัวของแคลเซียมออกไซด์บนชาร์ซ่านอ้อยที่อุณหภูมิเผา 600 องศาเซลเซียส (CaO/Bagasse char(600)) มีค่าเท่ากับร้อยละ 25.12 โดยน้ำหนัก

ภาคผนวก ข
การคำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์

1. คำนวณร้อยละผลได้ของของแข็ง

$$\text{ร้อยละผลได้ของของแข็ง} = \frac{100 \times W_{\text{ash}}}{W_{\text{daf}}}$$

2. คำนวณร้อยละผลได้ของของเหลว

$$\text{ร้อยละผลได้ของของเหลว} = \frac{100 \times W_{\text{liq}}}{W_{\text{daf}}}$$

3. คำนวณร้อยละผลได้ของแก๊ส

$$\text{ร้อยละผลได้ของแก๊ส} = \frac{100 \times W_{\text{gas}}}{W_{\text{daf}}}$$

4. คำนวณร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่สูญหาย

$$\text{ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่สูญหาย} = 100 - (\text{ร้อยละผลได้ของของแข็ง} + \text{ร้อยละผลได้ของของเหลว} + \text{ร้อยละผลได้ของแก๊ส})$$

โดย

W_{daf} คือ น้ำหนักของชีวมวลที่ปราศจากความชื้นและขี้เถ้า (กรัม)

W_{ash} คือ น้ำหนักของกากที่ปราศจากความชื้น (กรัม)

W_{liq} คือ น้ำหนักของของเหลว (กรัม)

W_{gas} คือ น้ำหนักของแก๊ส (กรัม)

ตัวอย่างการคำนวณ

ภาวะการณ์ทดลอง : นำขานอ้อยมาทำไฮโดรเทอร์มัลลิกวิแฟกชันโดยใช้เงื่อนไขคือ ความดันไนโตรเจนเริ่มต้น 20 บาร์ อุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา 300 องศาเซลเซียส ปริมาตรตัวทำละลายน้ำปราศจากไอออน (DI water) 100 มิลลิลิตร (อัตราส่วนของขานอ้อยต่อตัวทำละลาย 1:10 กรัมต่อมิลลิลิตร) ความเร็วรอบใบกวน 300 รอบต่อนาที เวลาในการเกิดปฏิกิริยา 60 นาที

การคำนวณ

น้ำหนักของขานอ้อย (Dry basis)	=	10.01 กรัม
น้ำหนักของขานอ้อย (Dry ash free basis)	=	8.296 กรัม
น้ำหนักผลได้ของของแข็ง	=	0.895 กรัม
น้ำหนักผลได้ของของเหลว	=	4.24 กรัม
น้ำหนักผลได้ของแก๊ส	=	0.29 กรัม
ร้อยละผลได้ของของแข็ง	=	$\frac{100 \times 0.895}{8.296} = 10.79$
ร้อยละผลได้ของของเหลว	=	$\frac{100 \times 4.24}{8.296} = 51.11$

$$\begin{aligned} \text{ร้อยละผลได้ของแก๊ส} &= \frac{100 \times 0.29}{8.296} = 3.49 \\ \text{ร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์ที่สูญหาย} &= 100 - (10.79 + 51.11 + 3.49) \\ &= 34.61 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ค
ข้อมูลการทดลอง

ตารางที่ ง.1 ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท

No.	Temperature (°C)	Solvent type	Biomass ratio				Initial N ₂ pressure (bar)	Rotation speed (rpm)	Time (min)	Final pressure (bar)	Bio-crude (%)	Residue solid (%)	Gaseous (%)	
			Bagasse	Bagasse char		Coconut char								
				600 °C	750 °C	600 °C								750 °C
1	300	DI water	1	0	0	0	0	21.3	300	60	26.4	51.11	10.79	3.50
2			1	1	0	0	0	21.8			23.6	45.54	42.18	1.24
3			0	1	0	0	0	21.6			23	11.90	81.79	0.86
4			1	0	0	1	0	21.7			22.4	32.01	38.14	0.42
5			0	0	0	1	0	22			22.9	13.30	81.77	0.57
6			1	0	1	0	0	21.8			25.7	33.55	36.71	2.72
7			0	0	1	0	0	22			22.9	14.31	80.97	0.48
8			1	0	0	0	1	21.8			22.5	42.25	35.87	0.45
9			0	0	0	0	1	21.7			22.6	2.38	74.53	22.36

ตารางที่ ง.1(ต่อ) ข้อมูลการทดลองในเครื่องปฏิกรณ์แบบแบตช์และร้อยละผลได้ของผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท

No.	Temperature (°C)	Solvent type	Biomass ratio					Initial N ₂ pressure (bar)	Rotation speed (rpm)	Time (min)	Final pressure (bar)	Bio-crude (%)	Residue solid (%)	Gaseous (%)
			Bagasse	CaO/Bagasse char		CaO/Coconut char								
				600 °C	750 °C	600 °C	750 °C							
10	300	DI water	1	1	0	0	0	21.5	300	60	26.5	39.76	30.55	2.75
11			0	1	0	0	0	21.9			22.9	16.38	80.41	0.68
12			1	0	0	1	0	21.7			25.7	48.56	25.25	2.44
13			0	0	0	1	0	21.7			22.7	13.43	84.86	0.53
14			1	0	1	0	0	22			23.1	38.89	13.44	1.03
15			0	0	1	0	0	21.7			22.7	12.36	85.83	0.85
16			1	0	0	0	1	21.7			25.7	39.38	28.64	2.40
17			0	0	0	0	1	22			23.2	18.11	80.75	0.76